

Förfruktens kväveeffekt och inverkan på höstrybs, höstvet och råg

Axel Baarman

Magisteravhandling

Helsingfors universitet

Institutionen för lantbruksvetenskaper

Växtodlingslära

Maj 2014

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Agrikultur–forstvetenskapliga fakulteten		Laitos — Institution — Department Institutionen för lantbruksvetenskaper	
Tekijä — Författare — Author Axel Baarman			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Förfuktens kväveeffekt och inverkan på höstrybs, höstvete och råg			
Oppiaine — Läroämne — Subject Växtodlingslära			
Työn laji — Arbetets art — Level Magisteravhandling		Aika — Datum — Month and year Maj 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 63
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Kväveutlakning är den största orsaken till kväveförluster från de finländska åkrarna. Över 20 kg/ha N kan gå förlorat per år. De finländska vattendragen och Östersjön påverkas av kväveutlakningen. Kväveutlakningen ger upphov till algbloomingen i Östersjön och insjöarna. Studier har visat att kväveförlusterna kan minskas genom att odla fånggrödor och i bästa fall kan kväveutlakningen minska med 90 %. I Finland odlas ännu inte mycket fånggrödor. Odling av fånggrödor anses vara för kostsamt och tidskrävande. Målsättningen med detta arbete var att undersöka hur effektivt höstvete, råg och höstrybs fungerar som fånggrödor och vilken kväveeffekt förfrukterna träda, korn och ärt har på höstgrödorna.</p> <p>Ett tre-årigt fältförsök utfördes vid Viks försöksgård mellan åren 2010-2013. Höstvete, råg och höstrybs odlades år 2010-2011 med träda som förfrukt och 2011-2012 med korn och ärt som förfrukt. År 2012 såddes höstvete, råg och höstrybs med träda, ärt och korn som förfrukt. I försöket undersöktes markens mineralkvävehalt före sådden på hösten och i maj på våren. År 2010-2011 undersöktes även markens mineralkvävehalt efter skörd av höstgrödorna. Växternas kvävehalt på hösten undersöktes också samt skörde kvaliteten och skördenivån.</p> <p>Före sådden 2011 fanns det högre mängd mineralkväve efter korn än efter ärt. Däremot fanns det mera mineralkväve efter träda jämfört med ärt och korn på hösten 2012. Mineralkväveförlusterna mellan hösten 2010 och våren 2011 var små. Höstrybs minskade mineralkvävehalterna mest och orsaken till detta var antagligen att höstrybsen ackumulerade mycket kväve i sina växtdelar på hösten 2010. Höstrybsen ackumulerade mycket mera kväve än rågen och höstvetet medan rågen år 2010 och 2011 ackumulerade mera kväve än höstvetet på hösten. Mineralkväveförlusterna var mycket stora mellan hösten 2011 och våren 2012. Över 80 % av mineralkvävet gick förlorat. Orsaken till de stora kväveförlusterna var rikligare nederbörd och en varmare vinter än vanligt.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords mineralkväve, förfrukt, rybs, vete, råg			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Institutionen för lantbruksvetenskaper, Kampusbiblioteket i Vik			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Handledare: Antti Tuulos och Professor Pirjo Mäkelä			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF
HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of agriculture and forestry		Laitos — Institution — Department Department of agricultural sciences	
Tekijä — Författare — Author Axel Baarman			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Nitrogen effect and impact of preceding crop on winter turnip rape, winter wheat and rye			
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop science			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year May 2014	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 63
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Nitrogen leaching is the main cause of nitrogen loss from Finnish agricultural soils. Nitrogen leaching can exceed 20 kg/ha/year. The Finnish waters and the Baltic Sea are affected by nitrogen leaching due to that nitrogen increases algae blooming. Studies have shown that the loss of nitrogen can be decreased by cultivating catch crops. Nitrogen leaching can in some cases be decreased by up to 90 %. In Finland catch crops are seldom grown. Catch crops are thought to be too costly and time consuming. The aim of this study was to investigate how efficiently winter wheat, rye and winter turnip rape function as catch crops and what effect the preceding crops of fallow, barley and peas have on autumn sown crops, with regard to nitrogen levels.</p> <p>A three year-long field experiment was established in 2010 at Viikki research farm in Helsinki. Winter wheat, rye and winter turnip rape were cultivated as catch crops; the preceding crops were fallow in 2010-2011 and barley and pea in 2011-2012. In 2012 winter wheat, rye and winter turnip rape were cultivated with fallow, peas and barley as preceding crops. In this study the soil's mineral nitrogen content was measured before sowing in autumn and in spring. In 2010-2011 the soil's mineral nitrogen content was also measured after harvest. The nitrogen content of the plants was measured in autumn. The seed quality and the seed yield were also measured.</p> <p>In autumn 2011 the mineral nitrogen content of the soil was higher after barley than after peas. However, there was more mineral nitrogen after cultivating fallow, compared to peas and barley in autumn 2012. The loss of mineral nitrogen between autumn 2010 and spring 2011 was slight. The nitrogen loss was greatest where winter turnip rape was cultivated, due to the plant's high nitrogen assimilation. Winter turnip rape accumulated much more nitrogen than rye and winter wheat, whereas rye accumulated more nitrogen than winter wheat in 2010 and 2011. Mineral nitrogen loss between autumn 2011 and spring 2012 was high, over 80 % of the nitrogen was lost due to heavy rainfall and a mild winter.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords mineral nitrogen, preceding crop, turnip rape, wheat, rye			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of agricultural sciences and Helsinki University library Viikki			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Antti Tuulos and Professor Pirjo Mäkelä			

Innehåll

1 INLEDNING.....	6
2 LITTERATUR ÖVERSIKT	7
2.1 Allmänt om kväve.....	7
2.2 Förluster av kvävet.....	8
2.2.1 Utlakning.....	8
2.2.2 Immobilisering	10
2.2.3 Denitrifikation	10
2.2.4 Ammoniak avdunstning	11
2.3 Tillförsel av kväve	11
2.3.1 Gödsling	11
2.3.2 Biologisk kvävefixering	12
2.3.3 Mobilisering/Mineralisering	13
2.4 Hur minska kväveförlusterna	14
2.5 Odling av fånggrödor; fördelar och nackdelar	14
2.6 Vilka faktorer avgör om en gröda passar som fånggröda.....	16
3 MÅLSÄTTNING	17
4 MATERIAL OCH METODER.....	18
4.1 Försöksplats och växtmaterial	18
4.2 Växtskydd.....	18
4.3 Mätningar och observationer	19
4.4 Försöksupplägg.....	20
4.5 Väderleken 2010-2013	22
4.6 Statistiska analyser	23
5 RESULTAT	24
5.1 Kvävehalten i marken	24
5.2 Kvävehalten i växterna	27
5.4 Skörd och kvalitet.....	30
5.5 Kvävets användnings effektiviteten av det gödslade kvävet (NUE)	33
5.6 Övervintring.....	34
6 DISKUSSION	37
6.1 Markens kvävehalter påverkas av förfrukten	37

6.2 Rybsen assimilerar mycket mera kväve än spannmålen på hösten.....	39
6.3 Stor variation mellan grödornas användningseffektivitet av det gödslade kvävet.....	42
6.4 Skörde kvaliteten påverkades mindre än väntat av förfrukten.....	44
6.5 Övervintringen gick inte som väntat	46
6.6 Förslag till vidare forskning	47
7 SLUTSATSER.....	47
8 TACK	47
9 KÄLLOR	48
Bilaga 1.....	60
Bilaga 2.....	61
Bilaga 3.....	62
Bilaga 4.....	63

1 INLEDNING

De näringsämnen som till största delen orsakar eutrofiering av sötvatten och kustnära hav är kväve och fosfor. Näringsutsläpp och förluster av kväve och fosfor från fastlandet bidrar till stor del till algblomning i Östersjön (Isermann 1990).

Uppskattningsvis kommer upp till 60 % av totala fosforutsläppen och 50 % av totala kväveutsläppen från jordbruket (Turtola m.fl. 2007a). Största delen av näringsutlakningen från jordbruket sker under månaderna augusti till maj då många åkrar inte har något skyddande växttäckning (Stenberg m.fl. 1999).

Odling av fånggrödor kan minska kväveutlakningen. Macdonald m.fl. (2005) konstaterar att odling av fånggrödor kan minska kväveutlakningen med 20 – 90 % beroende på året och fånggröda. En minskad kväveutlakning är inte den enda nyttan med att odla fånggrödor. Kolhalten håller på att minska i de finländska odlingsjordarna och odling av fånggrödor skulle vara en ypperlig åtgärd för att öka kolhalten i marken. Tyvärr kräver odling av fånggrödor mera tid och resurser av jordbrukaren och därför är det för tillfället inte många som odlar fånggrödor i Finland. Dessutom är odlingsförhållanden i Finland mycket annorlunda jämfört med övriga odlingsområden i Europa på grund av att växtperioden är mycket kort. Därför skulle det vara bra ifall någon av de höstsådda avsalugrödorna som odlas i Finland skulle tillämpas och odlas först som fånggröda och sedan ifall de överlever vintern skulle fröna kunna skördas på hösten.

Odling av fånggrödor kräver kunskap, i alla fall om jordbrukaren inte tidigare använt sig av fånggrödor eller odlat höstgrödor. En mera gedigen kunskap om grödornas fördelar kan styra jordbrukaren till rätt val av odlings- och fånggrödor. I detta examensarbete har man undersökt hur odling av de vanligaste höstsådda grödorna i Finland kan ta tillvara det mineralkvävet på hösten med olika förfrukter och hur odlingssäkra dessa grödor är och hur förfrukten påverkar skörden och kvaliteten.

2 LITTERATUR ÖVERSIKT

2.1 Allmänt om kväve

Kväve finns i atmosfären, marken och i vattendrag. Mycket av kvävet är bundet i växter och andra organismer för att det behövs för att bygga upp celler bland annat i aminosyror (Galloway m.fl. 2004). Förutom vatten är kvävet vanligtvis ett av de mest begränsande näringsämnena i en växtföljd utan trindsäd (Crawford 1995). Kvävet i växterna är också viktigt för människornas föda eftersom växter är en viktig proteinkälla för både människor och djur (Mertz 1978). Kvävebrist i växter kan allvarligt minska skördenivån och försämra skördekvaliteten. Ofta gödslas grödorna med rikliga mängder kväve för att säkerställa att växten får tillräckligt med kväve (Marinciu & Săulescu 2009). Fastän växter kan absorbera små mängder kväve från atmosfären genom löven kommer ändå största delen av kvävet att tas upp via rötterna i form av nitrat (NO_3^-) och ammonium (NH_4^+) (Michelsen m.fl. 1996). Kvävet genomgår många processer och har ett specifikt kretslopp (Bild 1).

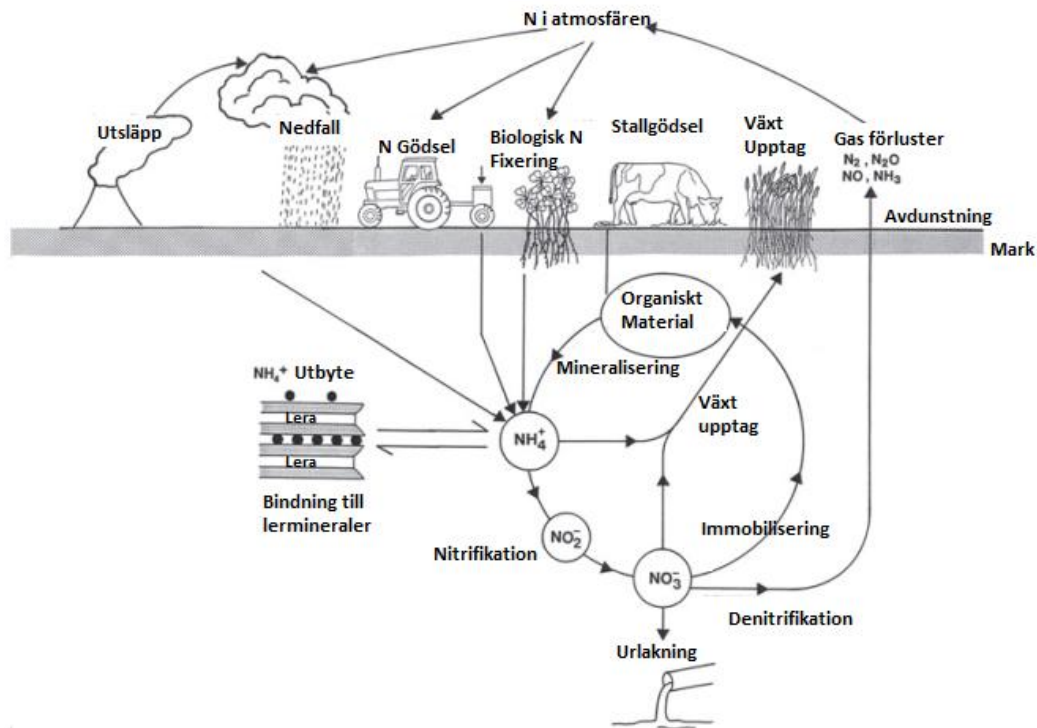


Bild 1. Kvävet i atmosfären tas upp av växter till följd av gödsling och biologisk kvävefixering. Kvävet som inte tas upp av växterna genomgår olika processer som resulterar i att kvävet endera urlakas eller återförs till atmosfären (redigerat från Cameron m.fl. 2012).

2.2 Förluster av kvävet

2.2.1 Utlakning

Kvävet som finns i marken rör sig med vattnet ner genom marken till grundvattnet alltid när det uppstår avrinning. Kväve kan inte enbart utlakas i form av nitrat utan kan även utlakas i andra former som till exempel ammonium, organiskt kväve eller bundet i markpartiklar (Page m.fl. 2003). Ammonium har inte lika stor betydelse för grundvattenkvaliteten som nitraten eftersom ammonium till skillnad från nitrat lätt kan bindas till markpartiklarna (Meisinger & Delgado 2002). Från de finländska åkrarna utlakas kväve i genomsnitt 12 - 18 kg/ha men från enskilda åkrar finns det stor variation (Vagstad m.fl. 2004). Bjornberg m.fl. (1996) fann att kväveutlakningen från åkrar i Iowa, USA kan vara så högt som 100 kg/ha ifall enbart majs (*Zea Majs* L.) odlas i växtföljden. Mineral kvävegödsel utlakas i vanliga fall i mycket små mängder från de

Finländska åkrarna ifall vårvävegödslingen görs med moderata mängder. Största delen av kvävet som utlakas i Finland kommer från mineralisering av organiskt material (Sippola & Yläntä 1985). Kväveutlakningen beror på bland annat markstruktur, jordart, dikning, gödslingsnivå, tidpunkt för gödselspridning, nederbördsmängd och intensitet av nederbörd (Löfgren 1999). På styva jordar är utlakningen mycket mindre än jämfört med lätta jordar (< 25 % lerhalt). Detta beror på att vattnet rinner snabbare och med större kraft igenom de lätta jordarna (Simmelsgaard 1998). Om jordbearbetning på hösten försenas kan det leda till att mindre kväve mobiliseras i marken och det leder i sin tur till mindre utlakningsrisker för kvävet. Orsaken är att jordbearbetning gynnar mikrobernas aktivitet (Myrbeck m.fl. 2012).

Utlakningen sker både via täckdiken och via ytavrinning fastän största delen sker via täckdikena (Ylivainio m.fl. 2002). Kväveutlakningen har både ekonomisk och ekologisk påverkan. Om kväveutlakningen är stor, betyder det att mindre kväve blir växttillgängligt för odlingsgrödorna och då måste gödslingsnivåerna ökas av odlaren. Ökade gödselnivåer leder i sin tur till att större andel av kvävet kontaminerar vattendrag (Meisinger & Delgado 2002). Nitratet urlakas till största delen under hösten, vintern och i början på våren när evaporationen är låg, nederbörden är hög och inga odlingsgrödor växer (Stenberg m.fl. 1999). Markens katjonutbyteskapacitet (CEC) påverkar också nitratläckaget från marken. Ifall CEC är lågt i marken binds ammoniumjonerna i mindre mängd än om CEC är högt och om ammonium inte binds till marken finns det större risk att ammonium urlakas (Page m.fl. 2003). Nitrat- och ammoniumutlakningen leder till att vattendragen eutrofieras. Dessutom leder det till ekonomiska förluster för jordbrukaren och ökade utgifter (Tisdale m.fl. 1999). Kväveutlakning och vattenkontaminering har blivit en stor miljörisk i hela världen på grund av intensifierad kvävegödsling under de senaste 50 åren. Problemet med kväveutlakningen och kontamineringen av yt- och grundvatten är i synnerhet i utvecklingsländerna ett stort problem (Cameron m.fl. 1997). I Europa hade Finland de lägsta nitrathalterna i grundvatten. Ungefär 98 % av Finlands grundvatten prover hade en nitrathalt på under 25 mg/liter. Tyskland och Malta hade de största nitrathalterna där över 50 % av grundvatten proverna innehöll över 50 mg/liter (Europeiska Kommissionen 2013). Däremot är eutrofieringen av Östersjön och insjöar ett större problem i Finland (Uusitalo m.fl. 2007).

2.2.2 Immobilisering

Immobilisering av kväve betyder att det växttillgängliga mineraliska kvävet omvandlas från oorganiskt kväve till organiskt kväve som inte är växttillgängligt för växterna. Detta sker med hjälp av markbakterier och ifall mycket kolrikt växtmaterial nedplöjs leder det till att det blir ett stort utbud på kol och därmed blir kväve den begränsande faktorn för bakteriernas tillväxt (Bengtson & Bengtsson 2005). Det kväve som immobiliserats i mikroberna blir växttillgängligt igen efter att mikroberna dör när deras celler bryts ner vilket leder till en mineralisering. Andelen kväve som frigörs när mikroberna dör är högst 15 % av totala andelen kväve i mikrobarna och följande år blir andelen kväve som frigörs mindre år för år (Persson 2003). Mineralisering och immobilisering sker hela tiden i marken och beroende på vilket förhållande kol och kväve har (C/N-kvoten) dominerar antingen mineraliseringen eller immobiliseringen (Tisdale m.fl. 1999). Desto högre C/N kvot i växtresterna desto mera kväve immobiliseras och tvärtom. Kvävegödslingen till stråsäd som odlats efter en växt som haft låg C/N kvot som t.ex. soja (*Glycine max* L. Merr.) behöver inte vara lika stor jämfört med en förfrukt som har en hög C/N-kvot. Orsaken är att det kväve som finns i sojans växtrester gör att mindre kväve immobiliseras och leder istället till att kvävet i större grad mobiliseras (Green & Blackmer 1995).

2.2.3 Denitrifikation

Kvävet denitrifieras om marken blir vattenmättad och det inte finns syre kvar i marken. Ifall alla porer är vattenfyllda råder anaeroba förhållanden i marken som leder till att nitrat genom reduktionsprocesser omvandlas till kvävegas (N_2) eller kväveoxider (NO , NO_2 och N_2O) (Dobbie & Smith 2001). Vid nedbrytning av organiskt material under syrefattiga förhållanden kan markbakterierna börja använda sig av syre som finns i nitrat och då reduceras nitraten slutligen till kvävegas (N_2) (Simek m.fl. 2002). Ifall jordarna är väl-dränerade och inte övergödslade är kväveförlusterna låga via denitrifikation. Om marken däremot är dåligt dränerad och kraftigt övergödslad kan kväveförlusterna komma upp till 4,1 kg/ha/dag (Sigunga m.fl. 2002). Ytterligare ökar denitrifikationen desto varmare marken är och ifall det finns mycket organiskt kol och om pH är högt (6 – 8) (Maag & Vinther 1996).

2.2.4 Ammoniak avdunstning

Ammoniakavdunstning uppstår efter gödsling av konstgödsel eller gödsling av animaliskt urin och exkrement. Därtill kan ammoniak uppstå vid mineralisering av organiskt material och växtrester. Det är en komplicerad process som innehåller fysiska, kemiska och biologiska faktorer. Ammoniakavdunstningen blir större ifall pH är över 7 och är som störst när dags temperaturen är som högst (Cameron 2012). Fukthalten i marken har också effekt på andelen ammoniak som avdunstar vid spridning av stallgödsel. Ifall marken är fuktig är ammoniakavdunstningen högre jämfört med om marken är torr. Orsaken är att marken har bättre infiltreringsförmåga vid en låg fukthalt (Donovan & Logan 1983). Andelen av ammoniak som avdunstar per land area i väst Europa per år är 12 kg/ha (Kirchmann m.fl. 1998). Ammoniakförlusterna är vid gödsling av urea oftast mellan 5 – 15 % av totala mängden gödslad urea (Cameron 2012). Ammoniakavdunstningen utgör endast en liten del av kväveförlusterna från jordbruket men kan vara betydliga efter spridning av stallgödsel och urea. Kväveförluster från stallgödsel kan effektivt förhindras genom att mylla in stallgödseln i samband med spridningen (Kirchmann & Lundvall 1998).

2.3 Tillförsel av kväve

2.3.1 Gödsling

Det finns olika sätt att gödsla åkern, till exempel med konstgödsel eller stallgödsel. Växterna kan ta upp konstgödsel direkt eftersom kvävet är i formen NO_3^- eller NH_4^+ medan stallgödselns organiska kväve först måste mineraliseras för att bli växttillgängligt för växterna. Vid konventionell odling gödslas åkrarna med konstgödsel för att kunna tillfredsställa växternas näringsupptag. Konstgödsel används främst på våren i stråsäd och odling av gräsvallar då stallgödsel inte räcker till för att täcka växternas behov. Stallgödselns kväveanvändningsförhållande är ofta lägre än konstgödselns (Ylivainio m.fl. 2002). Höstvet tar ungefär 50 – 70 % tillgodo av den tillsatta kvävekonstgödseln beroende på odlingsförhållandena. Resten av kvävet binds till markpartiklar, binds till mikrober, avdunstar eller utlakas (Powlson m.fl. 1992).

Till skillnad från konstgödsel som har kvävet i växttillgänglig form har stallgödseln en mindre mängd växttillgängligt kväve i sig och det varierar mycket mellan olika djurarter och lagringsmetoder. Stallgödsel har dock andra positiva effekter som till exempel att mikrobaktiviteten ökar i marken efter spridning jämfört med konstgödsel. I princip är det endast ammoniumkvävet i stallgödseln som är växttillgängligt. Resten av kvävet mobiliseras i marken och blir inte växttillgängligt direkt (Sun m.fl. 2004). Mineralgödsel utgör den största kvävetillförseln för åkrarna i Finland (Tabell 1).

Tabell 1. Kväve balansen i Finland 1990-2005 (redigerat från Salo m.fl. 2007).

Balans komponenter	Andelen kg/ha
Kväve tillförsel	
+ Gödsling (mineral och organiskt)	75 - 115
+ Stallgödsel	42 - 55
+ Biologisk kväve fixering	3 - 7
+ Atmosfäriskt nedfall	4 - 6
+ Övriga insatser (frön m.m.)	2 - 4
Kväve förluster	
- Skörd	65 - 80
Brutto kväve balansen	60 - 105
- Ammoniak avdunstning	
från gödselmedel	< 1
från stallgödsel	12 - 16
Kvävets netto balans	46 - 87

2.3.2 Biologisk kvävefixering

Biologisk kvävefixering sker när bakterier, blågröna alger eller svampar reducerar kvävgas (N_2) till ammoniak (NH_3) som är växttillgängligt. De kvävefixerande bakterierna kan leva i symbios med högre växter eller helt frilevande bakterier i marken och därtill kan bakterierna vara halvsymbiotiska (Geetanjali 2007). Den vanligaste symbiosen sker mellan familjen *Fabaceae* (ärtväxter) och markbakterier som kallas rhizobia (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium* och *Mesorhizobium*) (Willems & Collins 1993).

Bakterierna tar energi och kol från baljväxterna och rhizobiabakterierna förser baljväxterna med kväve, största delen i form av ammonium. Symbiosen får sin början då baljväxternas rötter infekteras av rhizobiumbakterier och bakterierna bildar rotnölar där kvävefixeringen sker (Liu m.fl. 2010). Andelen biologiskt kväve som kan fixeras av baljväxterna kan vara upp till 150 kg/ha/år beroende på året och på baljväxten (Mueller & Thorup-Kristensen 2001). Det råder ingen tvekan om att baljväxter kan öka kvävetillgången i marken men hur mycket kvävehalten i marken ökar beror på många olika faktorer som till exempel jordart, växtens C/N-förhållande och hur mycket baljväxten kan fixera (Liu m.fl. 2010).

2.3.3 Mobilisering/Mineralisering

Organiskt kväve är inte alltid tillgängligt för växter utan måste omvandlas till oorganiskt kväve för att växterna skall kunna ta upp kvävet och denna process kallas mineralisering. Mineralisering är en biologisk process där organiskt kväve vandlas till ammonium (Wu & McGechan 1998). Ammoniumkvävet nitrifieras och vandlas till nitrat. Under en växtperiod kan mellan en till två % av det organiska kvävet som finns i marken mineraliseras. Om marken innehåller en stor del organiskt material har den större förmåga att mobilisera kvävet under växtperioden. Därför mobiliseras större mängder av kväve från organogena jordar än från mineraljordar. I grund och botten betyder kvävemineralisering att det organiska kvävet (proteiner och humusämnen) omvandlas, med hjälp av heterotrofa mikroorganismer som använder organiskt kol som uppbyggnad till sin struktur och som energi, till ammoniak (Tisdale m.fl. 1999).

Mobiliseringen eller mineraliseringen ökar mycket när marken bearbetas för att detta stimulerar mikrobaktiviteten i marken. Bearbetningen orsakar att organiskt material frigörs och gör marken mera lucker vilket ger ökad syretillgång. Om bearbetningen utförs efter skörden i varm mark leder det till att kvävemineraliseringen ökar mycket mer i marken än om bearbetningen skulle utföras senare på hösten (Stenberg m.fl. 1998). Andelen växtmaterial som brukas ned i marken och intensiteten på jordbearbetningen har också betydelse för hur mycket kväve som mineraliseras. Minskad kvävemineralisering leder till minskad kväveurlakning men en alltför sen jordbearbetning på hösten kan också leda till lägre skördenivå (Stenberg m.fl. 1998). Kvävemineraliseringsförmågan är större i en växtföljd med baljväxter jämfört med en

växtföljd som består enbart av stråsäd (Chalk 1998). Därtill visade De-Zhi m.fl. (2005) att kväve mineraliseringsförmågan i gödslad mark är större än i en mark som inte blivit gödslad med kväve. Agehara & Warncke (2005) konstaterade att mineraliseringen är beroende av temperatur och markfuktighet där ökad markfuktighet ökar mineraliseringshastigheten. Enligt Steineck m.fl. (2000) kan det årliga mineraliserade tillskottet av kväve vara mellan 50-100 kg/ha och på bland annat humusrika torvjordar kan mineraliseringen överstiga grödornas kvävebehov.

2.4 Hur minska kväveförlusterna

Det finns många åtgärder att tillämpa för att minska kväveförluster från jordbruket.

Odlaren kan bland annat påverka utlakningsrisken genom att anpassa gödslingsnivån till grödan, genom val av gröda och genom val av jordbearbetningsstrategi. En för hög kvävegödslingsmängd, av såväl mineralkväve som stallgödsel till en gröda som inte har kapacitet att ta upp mycket kväve, leder till högre risker för utlakning av kvävet (Di & Cameron 2002). För att minska denitrifikationen skall dräneringen på åkern vara fungerande och markstrukturen bör inte förstöras (Cameron m.fl. 2012). Genom att inte gödsla hela gödselnivån på en gång utan fördela gödslingsmängden på flera givror kan man minska kväveförlusterna. Det lönar sig att gödsla när växtens upptag av kväve är som störst (Jenkinson 2001). Indirekt kan man påverka utlakningen med val av odlingsgröda. Odling av kvävefixerande grödor leder till ökad kvävemineraliseringsförmåga i marken och mindre kvävegödsel behövs till följande gröda (Jensen m.fl. 2010). Om mindre mängd gödselmedel används är riskerna för utlakning mindre (Cameron m.fl. 2012). Enligt Hauggaard-Nielsen m.fl. (2003) är risken för kväveutlakning större vid odling av baljväxter om inte fånggrödor odlas efter baljväxterna. Dessutom visade Hansen m.fl. (2007) att ett växttäck över hösten och vintern minskar kväveutlakning. Myrbeck m.fl. (2012) visade att bearbetning av åkern på våren istället för på hösten har minskat på kväveutlakningen.

2.5 Odling av fånggrödor; fördelar och nackdelar

Fånggrödor odlas för att minska på förluster av näringsämnen. Vid odling av fånggrödor använder fånggrödorna de näringsämnen som blivit kvar efter skörden vilka sedan kan

tas tillvara av följande års gröda (Meisinger m.fl. 1991). Stor del av åkrarna i Finland har inget växttäckte från september till maj och då är risken störst för utlakning och erosion av näringsämnen på grund av den stora mängden nederbörd som brukar förekomma under de finländska höstarna och vintrarna (Turtola m.fl. 2007b). Odling av fånggrödor efter skörden på hösten visade sig minska kväveutlakningen (Askegard m.fl. 2011). Användning av råg (*Secale cereale* L.) som fånggröda minskade nitrathalten i dräneringsvattnet med 48 % medan användningen av havre (*Avena sativa* L.) som fånggröda minskade nitrat halten i dräneringsvattnet med ca 24 % (Kaspar m.fl. 2011). Vos & van der Putten (2004) visade att desto mera kväve som växten kan assimilera på hösten desto mindre blir kväveutlakningen. Mcdonald m.fl. (2005) visade också att en tidigt sådd fånggröda kan minska kväveutlakningen med upp till 90 % jämfört med ingen fånggröda. Fånggrödor fungerar bäst på sandiga jordar och om nederbörden är riklig under vintern. Mcdonald m.fl. (2005) använde sig av fånggrödor som råg, vitsenap (*Sinapis alba* L.), honungsfacelia (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) och raps [*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (Moench.) Metzg.]. Rapsen hade vid alla mätningstillfällena minst kväveutlakningsförluster (Mcdonald m.fl. 2005).

Fånggrödor ökar även kvävehalten i marken och kan ge en bättre kvävetillgång till följande års gröda. Samtidigt kan även kväveutlakningen öka ifall fånggrödan inte sköts på rätt vis (Meisinger m.fl. 1991). Fånggrödor har visat sig förbättra markstrukturen bland annat på grund av bättre vatteninfiltrationsförmåga och minskad skrymdensiteten i marken (Kuo m.fl. 1997). Fånggrödorna skyddar marken med sitt levande eller döda växttäckte på grund av att fånggrödorna tar upp vatten, håller fast markpartiklar med sina rötter och förbättrar markens bärförmåga. Dessutom skyddar fånggrödor marken från regnens fysiska effekter och minskar på erosionen (Känkänen m.fl. 1998). Vid torra klimat kan fånggrödor åstadkomma skördeförluster till följande årsgröda på grund av att fånggrödan minskar fukthalten i marken och orsakar sämre groning för följande gröda (Unger & Vigil 1998). Därtill torkar marken upp långsammare på våren efter en fånggröda, vilket kan fördröja såningstidpunkten (Stivers-Young & Tucker 1999).

Ytterligare har fånggrödor den effekten att de ökar andelen kol och mängden organiskt material i marken. På grund av att det organiska materialet ökar i marken leder det också till bättre levnadsförhållanden för makro- och mikrofaunan (Reeleder m.fl. 2006). Ifall fånggrödor odlas kan kvävehalten i marken öka med 16 – 46 kg/ha/år och kolhalten

kan öka med 170 – 498 kg/ha/år jämfört med ifall inte någon fånggröda odlas (Sapotka m.fl. 2012).

Vissa fånggrödor har förmågan att kontrollera ogräs, växtpatogener och nematoder genom sina kemiska substanser som kommer endera från växten eller från växtrester i marken och det kallas allelopati (Inderjit & Keating 1999). Sarwar m.fl. (1998) visade att *Brassicaceae* släktet hade förmågan att minska andelen av fem stycken stråsådspatogener. Creamer m.fl. (1996) visade att råg har förmåga att kväva uppkomsten av vissa ogräsarter. Däremot kan odling av *Brassicaceae* släktens grödor också öka vissa organismer i marken som skadar själva odlingsväxten till exempel ifall rybs odlas med ett mycket tätt intervall i växtföljden ökar risken för klumprotssjuka (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) (Rastas m.fl. 2012).

Fastän fånggrödor har många fördelar är de inte allmänt använda i världen (Singer m.fl. 2007). En av orsakerna kan vara för att det är kostsamt att odla fånggrödor ifall de enbart odlas över hösten och vintern för då måste de oftast sås på hösten samt brukas ned i marken på våren (Snapp m.fl. 2005). Andra orsaker till varför de inte används kan vara för att det kräver tid, resurser, användning av maskiner och ger inte någon direkt ekonomisk nytta för odlaren (Singer m. fl. 2007).

2.6 Vilka faktorer avgör om en gröda passar som fånggröda

Vid val av fånggröda måste man välja en sådan gröda som passar in i klimatet. Dessutom är det bra att välja en sådan fånggröda som inte kan sprida sjukdomar till odlingsgrödorna. Ifall odlaren har mycket stråsåd i växtföljden är det bra med en fånggröda som kan minska på organismer som sprider sjukdomar till stråsåden (Talgre m.fl. 2011). Dabney m.fl. (1996) fann att grobarheten av sorghum [*Sorghum bicolor* L.(Moench)] försämrades ifall trindsäd hade använts som fånggröda. Det är också viktigt att välja en sådan gröda som kan konkurrera med de ursprungliga ogräsen och det är även bra ifall de har allelopatiska förmågor mot ogräs (Dabney m.fl. 2001). Upptagning av näringsämnen och förhindring av kväveurlakning är också viktiga faktorer som avgör ifall det är bra att använda grödan som fånggröda. *Brassicaceae* och *Poaceae* släkten är två till tre gånger effektivare än trindsäd på att minska

kväveurlakningen (Meisinger m.fl. 1991). Macdonald m.fl. (2005) fann att kväveurlakningen minskar med ökande kväveupptag i växten. Rapsen kan ta upp ca 64 – 105 kg/ha N på hösten (Razoux 1972) medan rågen kan ta upp mellan 15 – 50 kg/ha N (Staver & Brunsfield 1998). Costa m.fl. (2008) uppvisade att höstveten kan ta upp till 35 kg/ha N om den sås tidigt på hösten.

3 MÅLSÄTTNING

Målsättningen med detta examensarbete var att utreda höstrybsens, höstvetets och rågens egenskaper som fånggröda genom att undersöka dessa gröders kväveupptag på hösten. Målsättningen var också att utreda vad förfrukterna träda, ärt och korn har för inverkan på kväveeffekten, skördebildning och skördekvalitet av följande gröda. Examensarbetets hypoteser var följande:

1. Förfrukt och odlingsgröda inverkar på växternas kvävehalt på hösten.
2. Förfrukt och odlingsgröda inverkar på kvävehalten i marken.
3. Förfrukt inverkar på odlingsgrödans kvalitet och skördenivå.

4 MATERIAL OCH METODER

4.1 Försöksplats och växtmaterial

Försöket utfördes vid Helsingfors Universitet Viks försöksgård (60°13'19"N 25°1'0"E, 8 m ö. h.) mellan åren 2010-2013 och skiftets jordart var mullrik molera (mr MoL) med pH 6,4. Innan sådden plöjdes och harvades marken. Behandlingarna var träda, ärt (*Pisum sativum* L.) och korn (*Hordeum vulgare* L.) som förfrukt och de grödor som såddes efter förfrukterna var höstvet (*Triticum aestivum* L.), råg (*Secale cereale* L.) och höstrybs [*Brassica rapa ssp. oleifera* (DC.) Metzg.]. År 2010 lämnades också fyra upprepningar i träda.

Höstrågsorterna Riihi, Kier och höstvetesorten Olivin odlades och dessutom odlades höstrybssorterna Kulta och Salut. Höstrågen såddes i augusti under åren 2010-2012 och höstvetet såddes i slutet av augusti eller i början på september. Däremot såddes höstrybsen i slutet av juli (Tabell 3). Växterna såddes med en försöksrutssåmaskin (Wintersteiger TC2700, Ried, Österrike) och såningstätheten var 500 stycken frön/m² för rågen och vetet medan såningstätheten för höstrybsen var 150 stycken frön/m². Kier odlades 2010 medan Riihi odlades 2011 och 2012, Salut odlades 2010 och 2012 medan Kulta odlades år 2011.

Höstrybsen, rågen och höstvetet gödslades med 30 kg/ha N (N-P-K: 16-7-13; Agro, Cemagro oy, Finland) på hösten i samband med sådden och på våren med 80 kg/ha N (rågen och höstvetet N-P-K 27-0-0; Finlandsalpeter, Yara Suomi Oy, Finland) och höstrybsen (N-P-K: 15,5-0-0; Åkerkalksalpeter, Yara Suomi Oy, Finland). Totalt gödslades grödorna med 110 kg/ha N.

4.2 Växtskydd

Höstsåden betades med Topsin M (tiofanat-metyl 700 g/kg, Kemira GrowHow, Finland) 200 gram per 100 kg utsäde användes. Rapsen och rybsen betades inte. Ogräsen bekämpades på våren 2011 (Tabell 4) med 0,45 L K-trio (diklorprop-P 310

g/L, MCPA 160 g/L, mekoprop-P 130g/L, Monsanto Crop Science) och med ½ tablett med Express 50 T (tribenuron-metyl 500 g/kg, Du Pont) i 70 L vatten. Ogräsen bekämpades på våren 2012 (Tabell 4) med samma preparat som år 2011. I höstrybsbestånden bekämpades inte ogräsen. Inga insekticider, tillväxtreglerare eller fungicider användes.

4.3 Mätningar och observationer

Tätheten (Tabell 4) mättes både på hösten och på våren genom att mäta plantornas antal på en 30 cm:s sträcka på tre slumpmässigt valda platser på varje försöksruta. Markprover togs på hösten före skörd och på våren före gödsling åren 2010 – 2012. För försöket år 2010 – 2011 togs markprover efter skörden (Tabell 4). Ifall grödorna inte överlevde vintern gjordes ingen markanalys. Under vintern 2012 – 2013 dog största delen av växterna och ingen markanalys gjordes därför på våren 2013. Dessutom överlevde inte alla växter vintern 2011 – 2012 och därför blev några markprover inte tagna på våren 2012.

Det togs tre delprov från markens översta skikt (0 – 25 cm) per försöksruta och delproven blandades sedan ihop så att det blev ett prov per ruta. Från markens undre skikt (40 – 60 cm) togs ett markprov från en upprepning från alla växter. Hösten 2012 blandades alla markprover med samma förfrukt gemensamt. Andelen jord som samlades var ungefär 0,6 l/upprepning. Markproven extraherades först med nitratkväve och ammoniumkväve i marken med 2 M KCl för en timme med en mark-till-lösning förhållande 1:5 (Suomen Ympäristöpalvelu Oy, Uleåborg). Markens kvävehalter bestämdes sedan spektrofotometriskt från den extraherade lösningen med en automatiserad flödesinjektionsanalysator (FIASStar 5000 System, Foss A/S, Hilleröd, Danmark) enligt SFS-EN ISO 11732 30 (NH_4^+) och SFS-EN ISO 13395 (NO_3^-) normer.

Kvävehalten i växterna mättes 2010 genom att man skiljde åt mellan över- och underjordiska växtdelar (Tabell 4). År 2010 togs 10 stycken plantor av oljeväxterna/försöksruta och 40 stycken växter av spannmålen/försöksruta. På hösten 2011 och 2012 skiljdes inte över- och underjordiska växtdelar åt och växterna togs upp

från en slumpmässigt vald plats på ett 30x30 cm stort område från varje försöksruta. Växterna sköljdes och sattes sedan i ugnen för två dygn i + 80 °C. Därefter vägdes torrsubstansen av växterna sedan krossades de för hand och ett representativt prov på ca 200 gram maldes sönder med en rotorkvarn (1 mm såll, ZM 200, Retsch, Düsseldorf, Tyskland). Sedan mättes kvävehalten i växterna enligt Dumas förbränningsmetod (Elementar vario MAX CN, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Tyskland) och efter det räknades kvävehalten/ha.

När spannmålen och rybsen hade mognat skördades rutorna och spannmålen torkades till en fukthalt på ca 12 % och höstrybsen till ca 8 % fukthalt. Sedan sorterades skörden (Kamas–Westrup LA-LS, Westrup A/S, Slagelse, Danmark) och efter sorteringen vägdes den. Hektolitervikten uppmättes (GAC 2000 Grain Analysis Computer, Dickey-John Corporation, Illinois, USA) och protein-, olje- och klorofyllhalterna mättes (DA 7200, Perten Instruments AB, Sweden). Tusenkornsvikten uppmättes genom att räkna 100 stycken frön (Contador Pfeuffer, Kitzingen, Tyskland) och sedan vägdes fröna och medeltalet togs från tre stycken delprov.

4.4 Försöksupplägg

Försöksupplägget var 2010-2011 ett randomiserat blockförsök, 2011-2012 och 2012-2013 var försöksuppläggen delade figurförsök. Varje förfrukt hade 12 upprepningar och varje gröda hade fyra upprepningar per förfrukt. År 2010 var det inte någon skillnad i förfrukterna, alla grödor hade träda som förfrukt. År 2011 var det två olika förfrukter ärt respektive korn. År 2012 användes tre olika förfrukter ärt, korn och träda.

Tabell 2. Odlingsåtgärder och såningstidpunkterna för försöksgrödorna 2010-2013. Utvecklingen av plantorna uppmärksammades vid odlingsåtgärderna enligt BBCH-skalan (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 1997).

Försöks år	Sådd rybs	Sådd råg	Sådd vete	Gödsling vår	Ogräsbekämpning	Skörd rybs
2010-2011	21.7.	27.8.	31.8	2.5.2011/BBCH 30	17.5.2011/BBCH 31	3-5.8.2011
2011-2012	22.7	19.8.	7.9.	7.5.2012/BBCH 30	9.5.2012/BBCH 30	16-17.8.2012
2012-2013	20.7.	31.8	31.8.	-	-	-

Tabell 3. Mätningar och observationer under försökets gång 2010-2013. Utvecklingen av plantorna uppmärksammades vid mätning av tätheter och växtens kvävehalt, enligt BBCH-skalan (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 1997).

Försöks år	Markens kvävehalt			Tätheter		
	Före sådd	Vår	Efter skörd	Höst	Vår	Växt kväve
2010-2011	26.8.2010	2.5.2011	2.9.2011	19.10.2010/BBCH 13	9.5 2011/BBCH 30	15.11.2010/BBCH 21
2011-2012	21.7-7.9.2011	7.5.2012	-	5.10.2011/BBCH 14	9.5 2012/BBCH 30	28.10.2011/BBCH 22
2012-2013	19.7-21.7.2012	-	-	3.10.2012/BBCH 13	7.5 2013/BBCH 30	18.10.2012/BBCH 14

4.5 Väderleken 2010-2013

Medeltemperaturen under växtperioden för året 2010 – 2011, uppmätt vid Kajsaniemis väderstation i Helsingfors, var rätt lika som medeltemperaturen under perioden 1981 – 2010. År 2010 – 2011 var det en kallare vinter än normalt (Diagram 2). Medeltemperaturen för växtperioden 2011 – 2012 var mycket lik genomsnittstemperaturen för åren 1981 – 2010 (Diagram 2). Hösten 2012 var svalare än normalt och vintern 2012 – 2013 varade längre än normalt (Diagram 2). Den effektiva värmesumman för växtperioden år 2011 var över 1650 C° medan medeltalet för åren 1981 – 2010 var 1400 C° (FMI 2014). År 2012 var ett normalt år med tanke på den effektiva värmesumman som var ca 1300 – 1450 C° (FMI 2014).

Nederbörden under år 2010 – 2011 var relativt lika gentemot den genomsnittliga nederbörden mellan åren 1981 – 2010 (Diagram 2). Däremot var nederbörden under växtperioden för år 2011 – 2012 mera riklig än medeltalet från åren 1981 – 2010. Växtperioden för åren 2012 – 2013 var däremot den torraste av dem alla med tanke på att det regnade sammanlagt 74 mm under maj, juni och juli medan medeltalsnederbörden för dessa månader var 166 mm under åren 1981 – 2010.

Snötäcket året 2010 – 2011 var mycket långvarigt och tjockt jämfört med vad medeltalssnötäcket var mellan 1981 – 2010 (Diagram 2). Dessutom var också snötäcket för både år 2011 – 2012 och år 2012 – 2013 tjockare än vad som var vanligt för perioden 1981 – 2010.

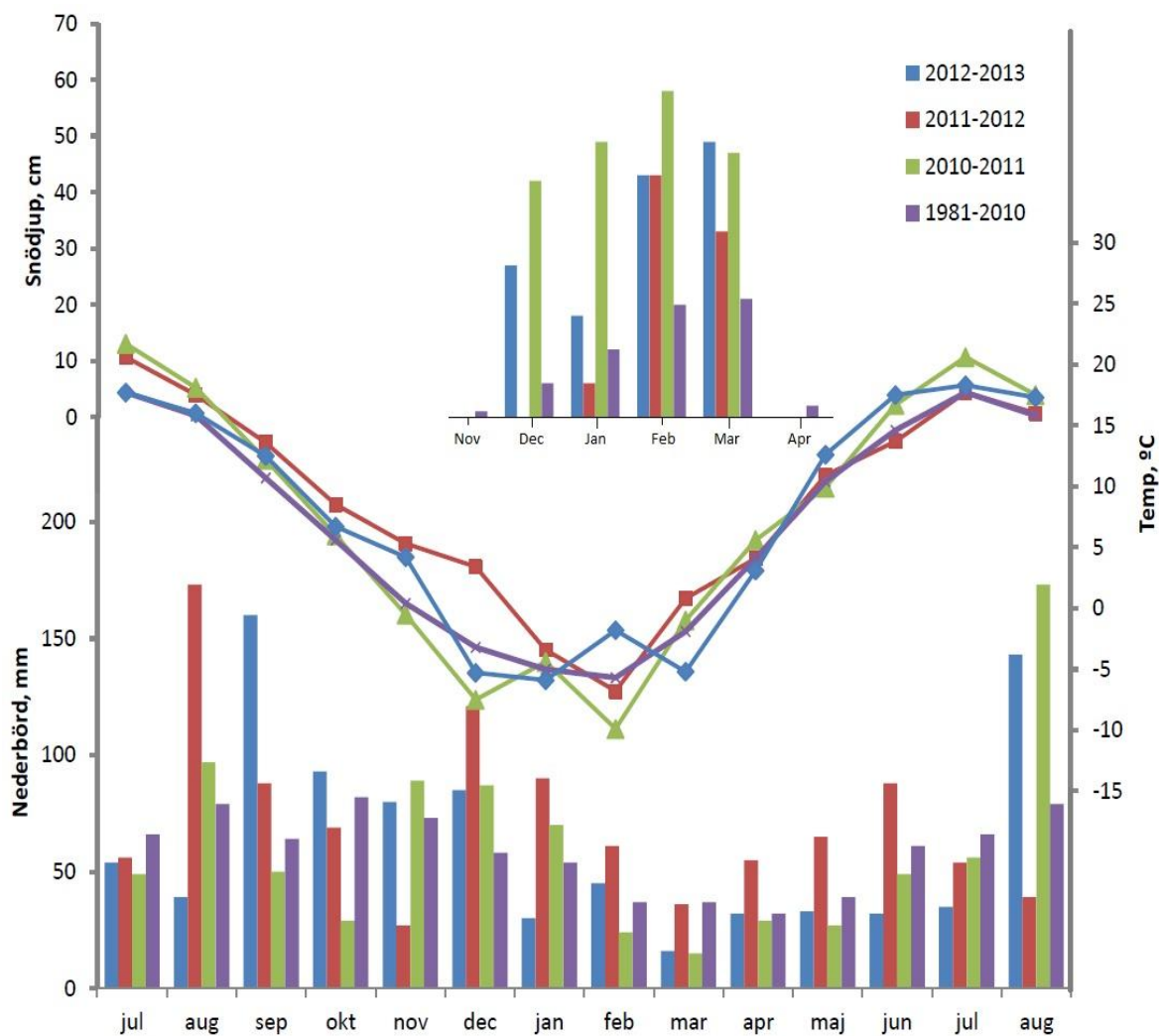


Diagram 2. Medeltalstemperaturer för år 2010 – 2013 samt medeltalstemperaturen för år 1981 – 2010 (FMI 2014). Nederbördsmängderna för år 2010 – 2013 samt genomsnittsnederbördsmängderna för år 1981 – 2010 (FMI 2014). Snödjupet för år 2010 – 2013 samt medeltalssnödjupet för år 1981 – 2010 (FMI 2014).

4.6 Statistiska analyser

Av det samlade materialet analyserades resultaten med programmet SPSS 21 (SPSS Inc. Chicago, Illinois, USA). Resultaten analyserades med såväl envägs och tvåvägs ANOVA beroende på antalet faktorer. Nollhypotesen testades genom att jämföra variansen mellan medeltalen för faktorerna. I envägs ANOVA testades nollhypotesen för gröda. Detta utfördes enbart på försöksåret 2010 – 2011. Med tvåvägs ANOVA testades nollhypotesen för förfrukt, gröda och för samspel mellan dessa. Tvåvägs

ANOVA utfördes för försöksåren 2011 – 2012 och 2012 – 2013. Vid p-värden mindre än 0,05 förkastades nollhypotesen.

5 RESULTAT

5.1 Kvävehalten i marken

År 2010 var markens kvävehalt före sådd hög och innan det såddes någon gröda uppmättes kvävehalten i marken till 97 – 104 kg/ha (Diagram 3). Före sådden var ungefär hälften av kvävet i det övre markskiktet (0 – 25 cm) och resten i det undre markskiktet (40 – 60 cm) (Diagram 3). På våren 2011 var det en stor skillnad mellan de olika grödornas kvävehalt i marken. Där rybs vuxit fanns det minst kväve (45 kg/ha) i marken (Diagram 3), medan det fanns mest kväve (76 kg/ha) kvar där träda fanns. Efter vintern skedde en minskning i markens kvävehalt (Diagram 3). Odlingsväxten hade signifikant effekt på hur mycket kväve som fanns kvar i marken på våren 2011. Där rybs vuxit skedde en minskning i markens kvävehalt med 59 kg/ha. Kvävehalten i marken där råg vuxit minskade med 38 kg/ha och kvävehalten i marken där vete vuxit minskade med 39 kg/ha. Kvävehalten i marken minskade endast med 23 kg/ha i trädan.

Kvävehaltsförändringen mellan våren 2011 och efter skörden 2011 visade att odlingsväxten hade signifikant effekt på kvävehalten i marken. Rybsen ökade kvävehalten i marken med 55 kg/ha från våren till hösten 2011 (Diagram 3). En ökning i markens kvävehalt skedde också för vetet och trädan (+ 31 kg/ha och + 29 kg/ha). Däremot minskade markens kvävehalt där rågen fanns med 7 kg/ha. De uppmätta kvävehalterna i marken efter skörden den 2.9.2011 var högst för trädan (106 kg/ha) men kvävehalten i marken var också hög för rybsen (100 kg/ha). Rågen hade minst kväve kvar i marken efter skörden (53 kg/ha). Speciellt litet kväve fanns det kvar i rågens undre markskikt där det endast fanns 15 kg/ha jämfört med kvävehalten i markens undre skikt för vetet som var 33 kg/ha.

Kvävehalterna som mättes på hösten 2011 (Diagram 3) visar att de grödor som odlats med korn som förfrukt i allmänhet hade högre kvävehalt i marken än hos de grödor som

hade ärt som förfrukt. Endast för rågen visar förfrukterna liknande kvävehalt där råg med ärt som förfrukt hade 57 kg/ha och råg med korn hade 55 kg/ha. Likväl fanns det bara signifikant skillnad mellan de olika förfrukternas kvävehalt i övre markskiktet för vete ($p=0,018$) medan det för resten inte fanns någon signifikant skillnad i det undre eller i övre markskiktet mellan de två förfrukterna. Markens kvävehalt var högre för vete med korn som förfrukt (177 kg/ha) än för vete med ärt som förfrukt (82 kg/ha).

På våren 2012 hade mycket kväve försvunnit från marken (Diagram 3). Både från undre och övre markskiktet hade kvävet gått förlorat. Vårens totala kvävehalter i marken var högst (8 kg/ha) för råg med ärt som förfrukt och minst (6 kg/ha) för rågen med korn som förfrukt. Det fanns endast signifikant skillnad mellan undre skiktets kvävehalt på våren mellan förfrukterna för rågen ($p=0,008$).

På hösten 2012 fanns det mest kväve (73 kg/ha) i marken vid träda som förfrukt (Diagram 4). Där ärt vuxit som förfrukt fanns det 43 kg/ha och minst kväve (19 kg/ha) fanns det där korn varit förfrukt (Diagram 3). Kvävet som fanns i det övre skiktet för trädan var nästan fem gånger större än kvävet som fanns i kornleden. Dessutom var ärtens kvävehalt i det övre markskiktet tre gånger högre än kornledets kvävehalt i övre skiktet. Däremot var kvävehalterna i det undre skiktet mera jämna. Kvävehalten i ärtens undre markskikt var enbart 4 kg/ha högre än kornets. Trädans kvävehalt i det undre mark skiktet var dubbelt större än kornets.

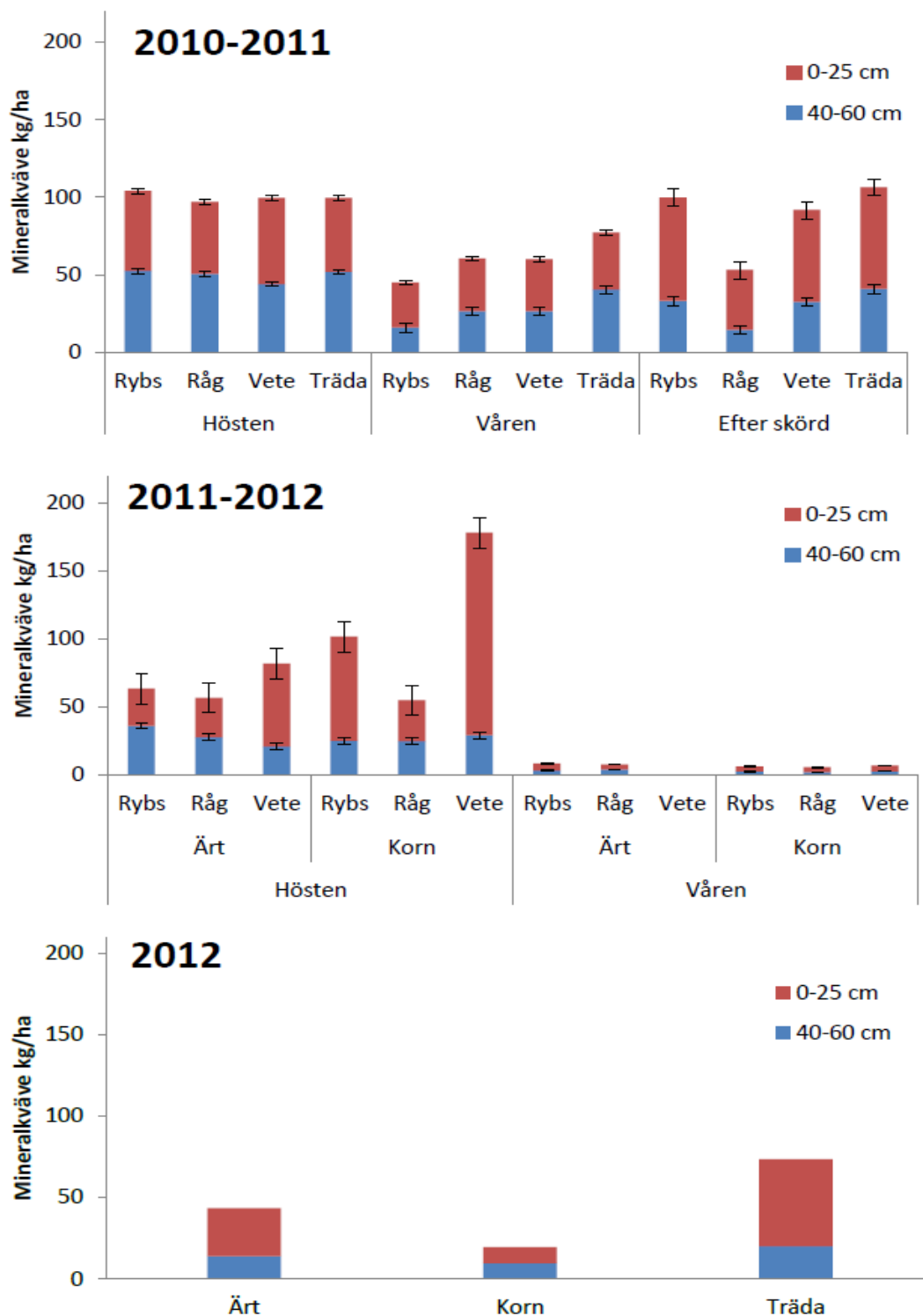


Diagram 3. Markens mineralkvävehalt mätta 26.8.2010, 2.5.2011 och 2.9.2011, 21.7 – 7.9.2011 och 7.5.2011. I försöket som grundades 2012 analyserades markens mineralkvävehalt endast på hösten den 19 – 21.7.2012. Resultaten utgörs av medeltal för åren 2010 – 2011 och 2011 – 2012 \pm SEM, (n = 4). Resultaten av året 2012 var taget från en upprepning.

Från hösten 2010 till våren 2011 var kväveförlusterna mellan 20 – 70 % i markens undre skikt medan kväveförlusterna var 20 – 40 % i övre markskiktet (Bilaga 1). Kvävehalten i marken från hösten 2010 till våren 2011 minskade med 70 % i markens undre skikt där rybs odlats och minskade minst där träda odlats, endast 21 %. Markens kvävehalt i det övre markskiktet minskade också mest där rybs odlats och minskade minst där träda odlats. Under hösten 2011 till våren 2012 var kväveförlusterna mellan 90 – 95 % i det undre markskiktet medan kväveförlusterna var 80 – 95 % i det övre markskiktet (Bilaga 1).

5.2 Kvävehalten i växterna

Alla år som kvävehalterna i växterna mättes samlade rybsen betydligt mera kväve än vete och råg. Rybsen assimilerade år 2010 betydligt mera kväve i såväl den ovanjordiska växtmassan som i den underjordiska växtmassan (Diagram 4). År 2010 fanns det signifikant skillnad ($p=0,000$) mellan rybsens och spannmålets kvävehalter. År 2010 fanns det också signifikant skillnad mellan rågens och vetets kväveupptag på hösten. Rybsen assimilerade 97 kg/ha N i de ovanjordiska växtdelarna medan rågen assimilerade 31 kg/ha N och vete 14 kg/ha N (Diagram 4). I de underjordiska växtdelarna assimilerade rybsen 31 kg/ha N och rågen endast 4 kg/ha N och vete 1 kg/ha N.

År 2011 var rågen den enda som hade signifikant skillnad beroende på ifall förfrukten var ärt eller korn ($p=0,012$). Råg med ärt som förfrukt assimilerade 80 kg/ha N och råg med korn som förfrukt assimilerade 31 kg/ha N (Diagram 4). För rybs och vete fanns det ingen signifikant skillnad mellan förfrukterna. Fastän både rybs och vete med ärt som förfrukt hade mera kväve assimilerat i sina växtdelar än rybs och vete med korn som förfrukt. Rybs med ärt som förfrukt assimilerade totalt 186 kg/ha N medan rybs med korn som förfrukt assimilerade totalt 154 kg/ha N. Rybsen hade signifikant skillnad jämfört med både vetet och rågen (Diagram 4). Dessutom fanns det år 2011 signifikant skillnad mellan vete och råg ($p=0,016$).

År 2012 var det igen rybsen som hade mest kväve i sina växtdelar. Rybs som såddes efter träda hade den högsta halten (139 kg/ha) av kväve i sina växtdelar och rybs med korn som förfrukt hade 68 kg/ha (Diagram 4) och det fanns signifikant skillnad mellan alla förfrukter på rybsens kvävehalter. Det fanns ingen signifikant skillnad mellan vetets och rågens kvävehalter i växtdelarna. Det fanns ingen signifikant skillnad mellan de olika förfrukterna för spannmålen.

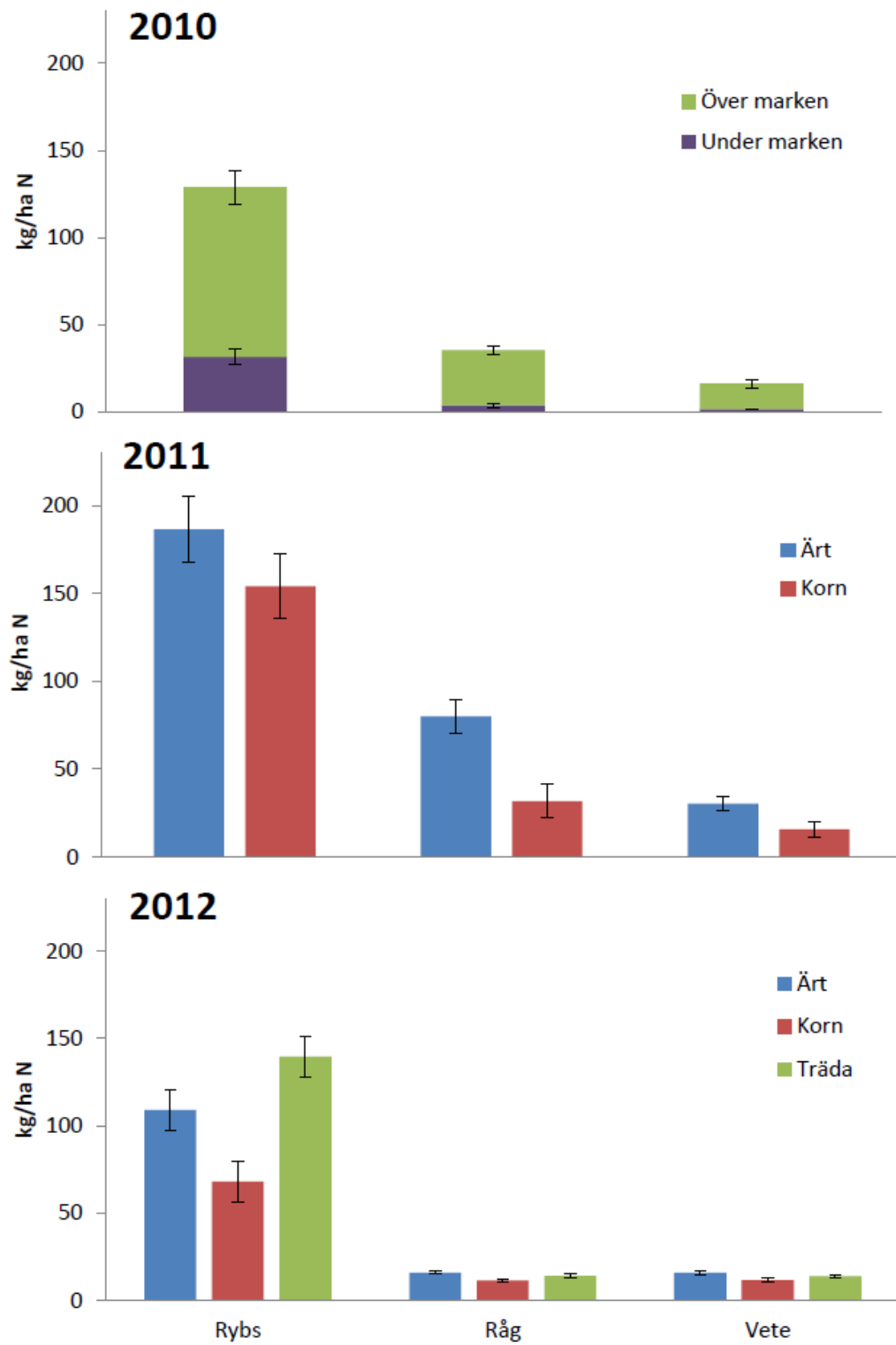


Diagram 4. Kvävehalten i växterna 15.11.2010, 28.10.2011 och 18.10.2012. Resultaten utgörs av medeltal \pm SEM, ($n = 4$ förutom för rybs med träda som förfrukt där $n = 3$).

Kvävehalten i rybsen ökade med ökad kvävehalt i marken (Diagram 5). Kvävehalten i marken i leden med träda hade i genomsnitt den högsta kvävehalten jämfört med förfrukterna ärt och korn. Dessutom hade rybs med träda som förfrukt den högsta kvävehalten i medeltal i växtmassan jämfört med rybs med ärt och korn som förfrukt.

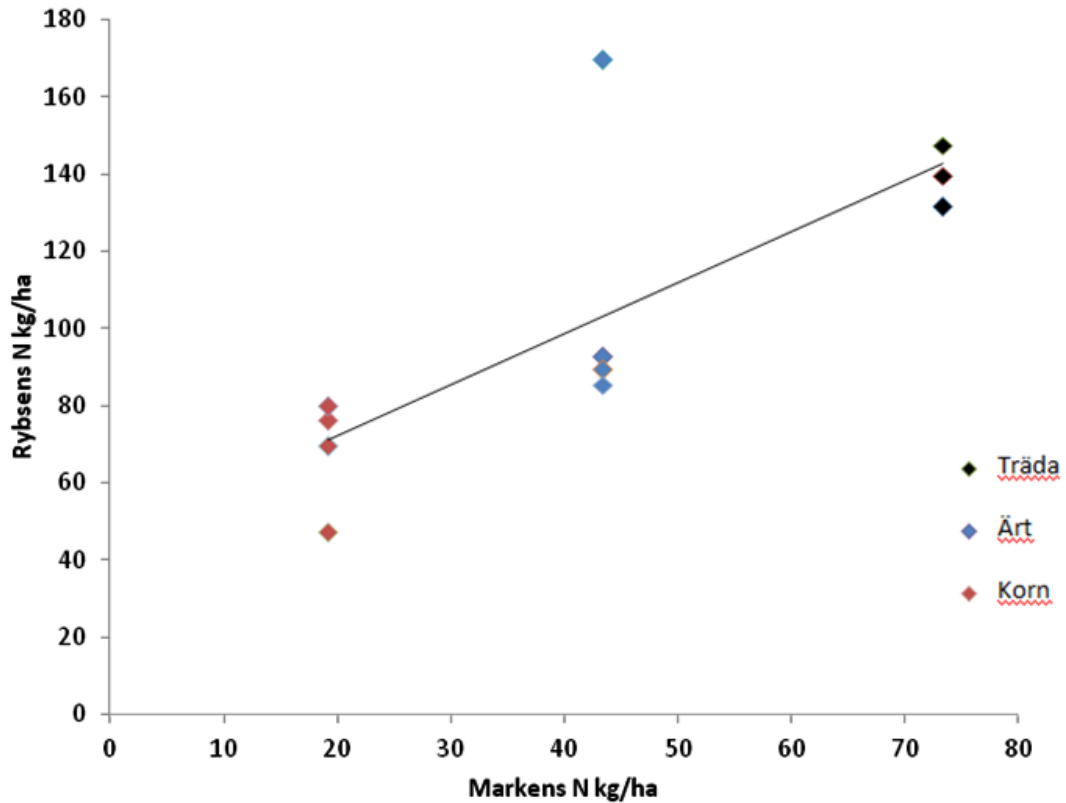


Diagram 5. Markens och rybsens kväveförhållanden till varandra. Resultaten utgörs av medeltalet av markens kvävehalter den 19-21.7.2012 och rybsens kvävehalts mätning den 18.10.2012. $Y = 1,3207x + 46,008$; $r^2 = 0,5996$.

5.3 Skörd och kvalitet

Kvaliteten på vetet och rågen år 2011 var mycket bra (Tabell 4). Tusenkornsvikten var för rågen 37,4 g och för vetet 41,1 g. Proteinet var mycket högt både för rågen (12,9 %) och vetet (15,1 %). Rybsens 1000 kornsvikt var bra (3,2 g) men proteinhalten var hög (27,3 %) och oljehalten låg (37,9 %). Proteinet år 2012 var för både råg med ärt och med korn som förfrukt lågt (10,2 % och 9,1 %). Vetets proteinhalt (9,6 %) var mycket lågt år 2012 (Tabell 4). Det fanns signifikant skillnad för 1000 kornsvikten och

proteinet mellan ärt och korn som förfrukt för rågen medan det endast fanns signifikant skillnad mellan förfrukterna för rybsens proteinhalt. Klorofyllhalten för rybsen var bra år 2011 (20 ppm) medan den år 2012 var dålig (26 ppm).

Fröskörden var lägst för rågen 1300 kg/ha och högst för vetet 3570 kg/ha år 2011 (Diagram 6). Rybsskörden var hög 1760 kg/ha år 2011. År 2012 hade förfrukten ingen signifikant effekt på rybsskörden (Diagram 6). Skördenivåerna var 1400 kg/ha för rybs med ärt som förfrukt och 1480 kg/ha med korn som förfrukt. Förfrukten hade signifikant inverkan på rågens skördenivåer. Råg med ärt som förfrukt hade 1220 kg/ha högre skörd än råg med korn som förfrukt. Vetets fröskörd år 2012 var dålig, endast 2670 kg/ha.

Tabell 4. Skörde kvalitets aspekter för år 2011 och 2012. Resultaten utgörs av medeltal \pm SEM, (n = 4).

Skörde år	Förfrukt	Sort	1000 k.v. (g)	Protein (%)	Hlv (kg)	Oljehalt (%)	Klorofyll (ppm)
2011	Träda	Rybs	3,2 \pm 0,02	27,3 \pm 0,3	64 \pm 0,3	37,9 \pm 0,3	20 \pm 1,1
		Råg	37,4 \pm 0,65	12,9 \pm 0,23	74,3 \pm 0,48	-	-
		Vete	41,1 \pm 0,84	15,1 \pm 0,16	82,8 \pm 0,2	-	-
2012	Ärt	Rybs	3,1 \pm 0,1	21,5 \pm 0,1	64,5 \pm 0,3	46 \pm 0,2	26 \pm 1,2
		Råg	28,9 \pm 0,6	10,2 \pm 0,1	72,2 \pm 0,4	-	-
	Korn	Rybs	2,9 \pm 0,1	20,8 \pm 0,2	64,4 \pm 0,2	46,8 \pm 0,1	26 \pm 0,6
		Råg	33,7 \pm 1,3	9,1 \pm 0,3	73,9 \pm 0,6	-	-
		Vete	41,9 \pm 0,9	9,6 \pm 0,2	80,2 \pm 0,3	-	-

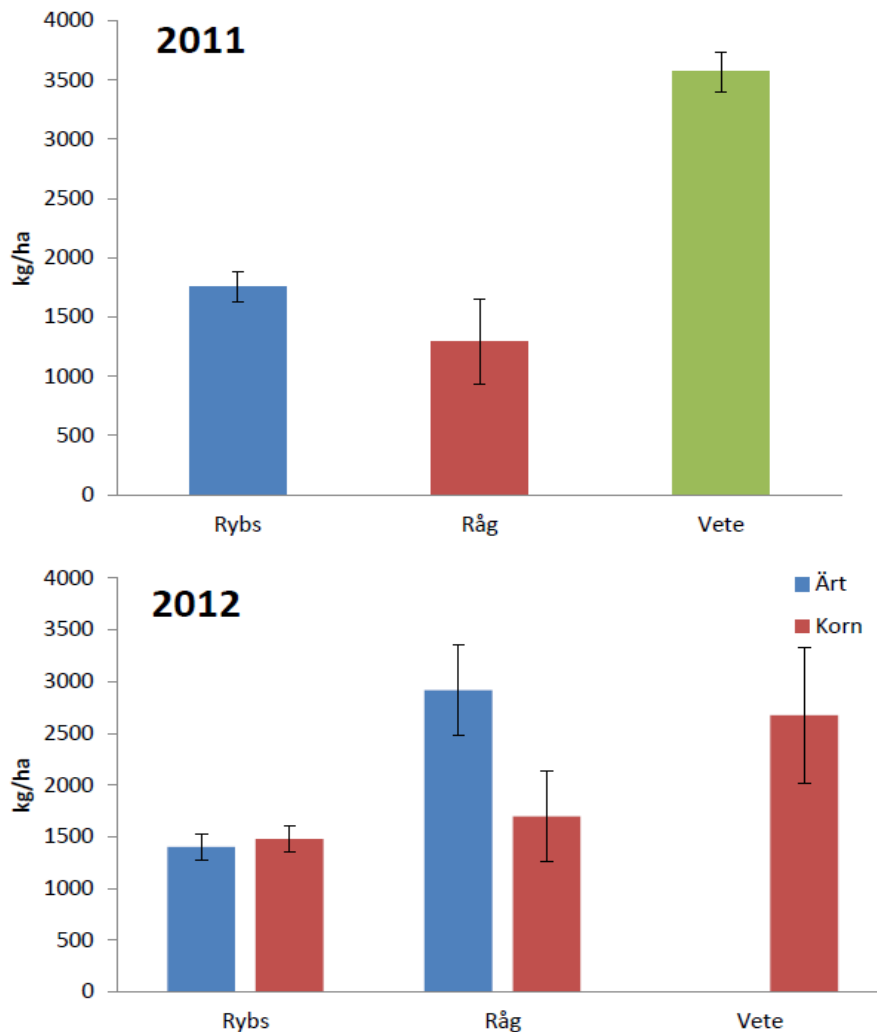


Diagram 6. Fröskörden för försöket 2011 och 2012. Skörden anges vid 15 % fukthalt för rågen och vetet medan den för rybsen anges skörden vid 9 % fukthalt. Resultaten utgörs av medeltal \pm SEM, (n = 4).

5.4 Kvärets användnings effektiviteten av det gödslade kvävet (NUE)

År 2011 kunde både rybs och vete använda en stor del av det gödslade kvävet och kvävet användningseffektivitet var 70 % för rybsen och 78 % för vete. Däremot lyckades inte rågen ta tillvara det gödslade kvävet lika bra (Tabell 5). Odlingsgrödan hade effekt på kvävet användningseffektivitet år 2011. Kvävet användningseffektivitet år 2012 var lägre än för år 2011. Kvävet högsta användningseffektivitet år 2012 hade

rybsen (45 %) med korn som förfrukt (Tabell 5). Kvävet användningseffektivitet var endast 1 % lägre för rybs med ärt som förfrukt än för rybs med korn som förfrukt. Däremot var rågens kväve användningseffektivitet nästan dubbelt större med ärt som förfrukt än med korn som förfrukt. År 2012 hade förfrukt och odlingsgröda ingen signifikant effekt på kväve användningseffektiviteten av det gödslade kvävet.

Tabell 5. Växtens kväveanvändningseffektivitet av det gödslade kvävet (NUE, %). Resultaten utgörs av medeltal \pm SEM, (n = 4).

År	Förfrukt	Sort	NUE
2011	Träda	Rybs	70 \pm 2,9
		Råg	24 \pm 2,9
		Vete	79 \pm 3,9
2012	Ärt	Rybs	44 \pm 2,5
		Råg	43 \pm 2,2
	Korn	Rybs	45 \pm 2,6
		Råg	23 \pm 1,3
		Vete	46 \pm 2,6

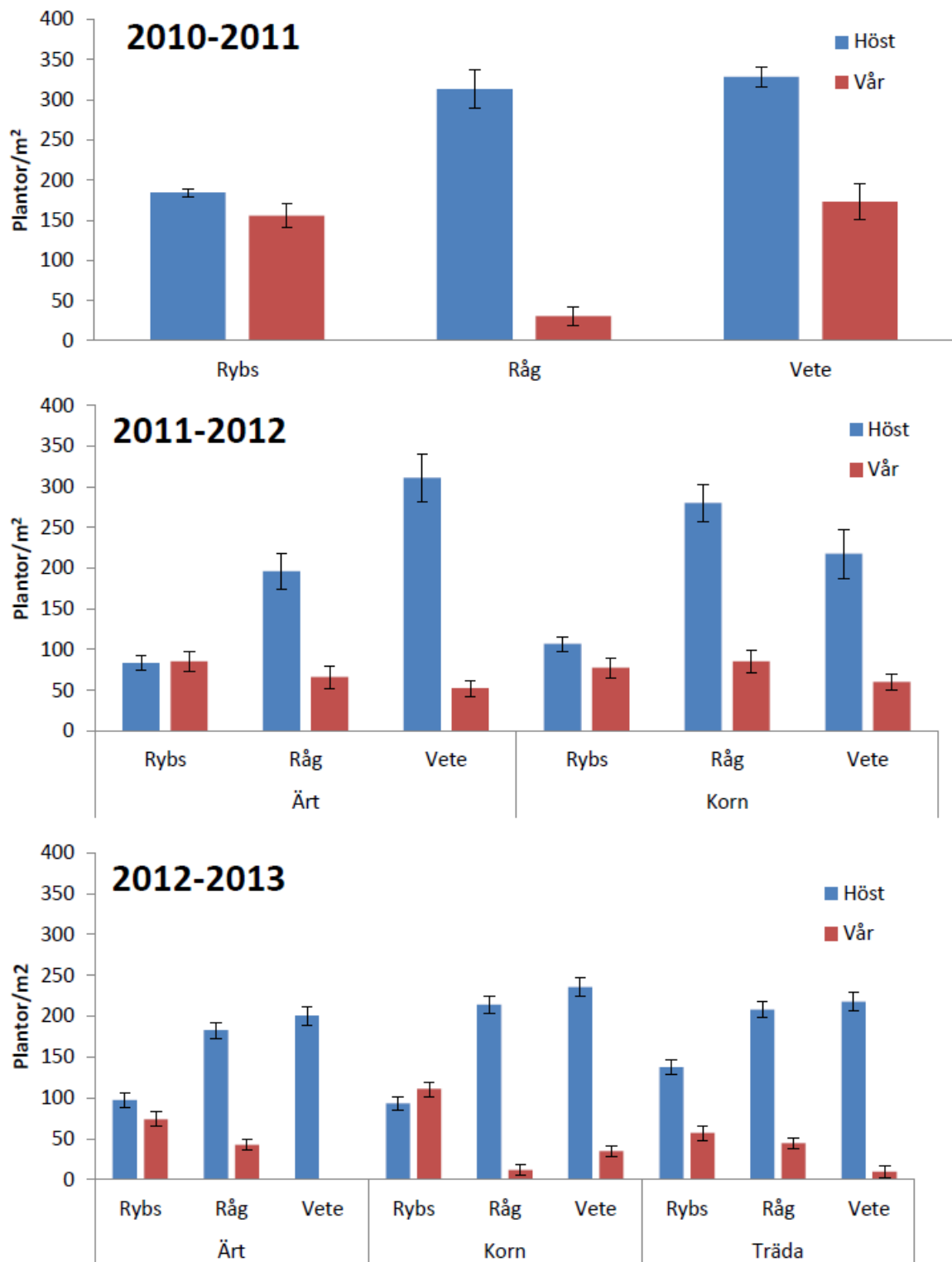
5.5 Övervintring

Övervintringen 2010 – 2011 var bra för rybs medan råg och vete övervintrade dåligt. Endast 10 % i genomsnitt av rågplantorna klarade vintern och i genomsnitt 50 % av veteplantorna (Diagram 7). Rybsen etablerade sig bra på hösten och plantuppkomsten för rybsen var på hundra % medan rågens och vetets plantuppkomst var dålig (63 % och 65 %).

Övervintringen år 2011 – 2012 var inte bra för varken råg eller vete (Diagram 7). Övervintringen för råg och vete var för båda ca 30 %. Däremot hade rybsen en bra övervintring. Med 100 % övervintring för rybs med ärt som förfrukt och rybs med korn som förfrukt hade 82 % övervintring. Förfrukterna hade ingen inverkan på grödornas övervintringsförmåga.

Förfrukten hade effekt för rågens och vetets täthet på hösten 2011 men inte för rybsens täthet. Hösten 2011 var tätheten låg (endast 200 – 300 plantor/m²) för stråsåden men bra (kring 100 plantor/m²) för rybsen (Diagram 7). Under vintern 2011-2012 var det många plantor som dog. Bäst av alla grödor klarade sig rybsen. Speciellt bra klarade sig rybs med korn som förfrukt, den hade en överlevnadsprocent på 100 %. Sämst klarade vete med ärt som förfrukt vintern, alla plantor dog.

År 2012-2013 övervintrade spannmålen dåligt medan rybsen övervintrade bra (Diagram 7). Förfrukten hade inverkan på vårens tätheter (Diagram 7). Det fanns signifikanta skillnader mellan rybs med korn som förfrukt och rybs med träda och ärt som förfrukt. Vete med korn som förfrukt klarade vintern bättre än övriga vetebestånd. Dessutom fanns det signifikanta skillnader mellan råg med korn och ärt samt träda som förfrukt. Som tidigare år hade odlingsgrödan effekt på överlevningsprocenten. Rybs med korn som förfrukt övervintrade bäst.



6 DISKUSSION

6.1 Markens kvävehalter påverkas av förfrukten

Markens mineraliska kvävehalt på hösten 2010 var hög. Höga halter fanns i marken på grund av att det varit träda som förfrukt. På träda som det inte funnits något växttäckande under växtsäsongen anrikas kväve i marken på grund av mineralisering (Mattson & Brink 1980). Det sker en ökad kväveanrikning i marken på både mekanisk träda och på kemisk träda jämfört med ifall det odlas korn (Linden & Wallgren 1991). På mekanisk träda anrikades mineralisktkväve från våren till hösten i genomsnitt 70 kg/ha i mellersta Sverige (Linden & Wallgren 1988) och 113 kg/ha i södra England (Froment m.fl. 1999).

På våren 2011 hade markens kvävehalt sjunkit mest där rybs vuxit. Orsaken är antagligen den att rybsen assimilerat mycket mera kväve än de andra växterna (Mcdonald m.fl. 2005, Vos & van der Putten 2004). Orsaken till att det fanns mycket kväve kvar efter vintern i leden med träda var antagligen den att det inte fanns några växter som assimilerade det mineraliserade kväve (Stenberg 1998).

Det fanns stor variation mellan kvävehalten i marken efter skörden. Minst kväve blev det kvar efter rågen eftersom rågen tar upp kvävet mycket effektivt från marken (Paponov m.fl. 1999). Kvävehalten i marken ökade mest från våren 2011 till hösten efter skörd i rybsbestånden. Rapsen tar upp mycket kväve, 56 %, av totala behovet under den vegetativa fasen och 33 % under blomningen och 11 % efter avslutad blomning (Hocking m.fl. 1997). Mängden ackumulerat kväve i marken efter höstraps och ärter är ofta mycket högre än efter spannmål på grund av höga kvävehalter i växtresterna (Sieling m.fl. 1999). Gan m.fl. (2010) märkte att kvävemineraliseringen under växtperioden är nästan hälften mindre där som oljeväxter växer jämfört med vete och trindsäd. Orsaken är att oljeväxternas rötter oftast saknar funktionell mykorrhiza aktivitet (Glenn m.fl. 1985). Ifall det finns mykorrhiza som kan leva i symbios med odlingsväxter ökar det växtens kväveupptag på grund av ökad kvävemineralisering. Jord som hade inokulerats med mykorrhiza hade 20 % högre mineraliseringsförmåga än jord som inte inokulerats med mykorrhiza och rötternas torrsustans var 45 % större än de

rötter utan mykorriza (Nayyar 2009). Därför kan den höga kvävehalten i marken efter rybs inte förklaras med hög kvävemineralsättning utan kan snarare förklaras med den dåliga translokeringen av kväve till fröna varav de växtdelar som lämnas kvar på åkern efter skörd har hög kvävehalten (Ratchke m.fl. 2006).

Mineral kvävehalten i råg leden minskade från vår till höst. I de övriga leden ökade markens mineral kvävehalt. Kvävehaltsökningen i marken för trädan beror på att kvävemineralsättningen sker i marken och anrikas för att ingen växt assimilerar det mineraliserade kvävet (Mattson & Brink 1980). Kvävehalten efter skörden på vete är hög jämfört med rågen. Markens kvävehalt vid gultmognad hos stråsåd borde vara ca 18 – 24 kg/ha (Linden m.fl. 1999). Enligt Linden (1980) blir det kvar 20 – 30 kg/ha N i marken efter mognad som stråsåden inte klarar av att ta upp från marken. Linden (1980) visade liknande kvävehalter kvar i marken oberoende om stråsåden fått kvävegödsling eller inte.

Hösten 2011 var kvävehalterna i marken för ärt som förfrukt mindre jämfört med kvävehalterna i marken för korn som förfrukt. Detta överensstämmer inte med tidigare forskning bl.a. Francis m.fl. (1994) i Nya Zeeland, och Maidl m.fl. (1996) i södra Tyskland menar att markens kvävehalt är högre efter skörd av trindsäd än efter skörd av spannmål. Af Geijerstam & Mårtensson (2006) erhöll i centrala Sverige också högre kvävehalter i marken efter skörd av ärt än efter skörd av havre. De högre kvävehalterna i marken där korn varit som förfrukt kan enligt Jensen (1996), som forskade om kvävemineralsättning i Danmark, bero på att det tar en stund för ärtens kväve att mobiliseras i marken och bli växttillgängligt. Enligt Guntiñas m.fl. (2012) är kvävemineralsättningen som störst vid temperaturer kring 25 °C och när markens fältkapacitet är 80 %. De lägre uppmätta kvävehalterna i marken efter trindsäden kan bero på långsammare kvävemineralsättningsförmåga i marken i Finland eftersom markens medeltemperatur i södra Finland är ca 6 °C (Yli-Halla & Mokma 1998).

På våren 2012 hade mycket kväve försvunnit från marken. Det fanns under 10 kg/kg N kvar vilket är en stor minskning från höstens kväveinnehåll. Under hösten och vintern, om nederbörden är hög och växternas kväve upptag är låg, ökar ofta utlakningen av kväve som vanligtvis är fallet i norra Europa (Christen m.fl. 1992, Sieling m.fl. 1999).

Väderleksförhållanden från juli – april under åren 2010 – 2012 var olika (Bilaga 2). Från juli 2010 till april 2011 var den totala regnmängden 539 mm medan regnmängden från juli 2011 till april 2012 var 726 mm (Bilaga 2). Den höga regnmängden från juli 2011 till april 2012 är en av orsakerna till de höga kväveförlusterna (Sieling m.fl. 1999). Medeltemperaturen var på minus redan vid november månad år 2010 och gick på plus först i april. Däremot var medeltemperaturen på minus först vid januari år 2012 och gick på plus redan i mars (Bilaga 2). Den höga medeltemperaturen mellan november 2011 till april 2012 bidrog också till att en stor del av kvävet försvann under vintern. Kallare vinter leder till mindre mängd kväveförluster på grund av att marken är frusen vilket gör att vattnet till största delen rinner som ytvatten och inte neråt genom marken (Gustafsson 1983). Engström m.fl. (2011) observerade också en högre utlakning av kväve vid en mildare vinter än under en kallare vinter. Kvävet förloras inte endast till följd av urlakning utan förloras även på grund av denitrifikation och immobilisering. Vid riklig nederbörd blir markporerna vattenmättade och det kan leda till syrebrist i marken och då ökar denitrifikationen (Addiscott & Powlson 1991). Den mycket höga nederbörden mellan hösten 2011 och våren 2012 bidrog säkert till att en del av kvävet i marken också denitrifierades. Enligt Känkänen m.fl. (1998) upphör kvävemineraliseringen när dygnstemperaruten är nära eller under 0 °C. Detta kan också vara en av orsakerna till att kväveförlusterna var mindre under året 2010 – 2011 jämfört med året 2011 – 2012.

Kvävehalten i marken på hösten 2012 överensstämmer mycket bra med tidigare forskning (Linden & Wallgren 1988; Linden m.fl. 2005). Kvävehalten efter trädan ligger i medeltal på 70 kg/ha N vilket motsvarar Linden & Wallgrens resultat (1988). Markens kväveinnehåll efter ärt är högre än efter korn och dessutom är markens kvävehalt efter korn 19 kg/ha N vilket också Linden m.fl. (2005) konstaterade.

6.2 Rybsen och spannmålsens kväveassimilation

Det fanns skillnad i hur mycket kväve de olika växtarterna assimilerade under hösten. Andelen kväve som växterna assimilerade på hösten hade stor variation och skillnaden mellan rybsen och spannmålen var stor, vilket var väntat. Under alla försöksår innehöll samtliga rybssorter mera kväve i sina växtdelar än höstsäden. Detta överensstämmer

med tidigare forskningsresultat (Linden 2000, Razoux 1972). Oftast innehöll rybsen långt över 100 kg/ha N i dess växtdelar. Detta överensstämmer inte exakt med tidigare forskning där kvävehalten i höstrapsens ovanjordiska växtdelar varit mellan 47 – 74 kg/ha i sydvästra Sverige (Engtsröm m.fl. 2011), 64 – 105 kg/ha i Danmark (Razoux 1972) och 75 kg/ha i Sydtyskland (Aufhammer m.fl. 1994). Linden & Wallgren (1988) konstaterade att höstrapsen har en förmåga att ta upp 100 kg/ha N i sina ovanjordiska växtdelar beroende på tidpunkten för sådden samt radavståndet. Rapsen ackumulerar under hösten ca 25 – 30 % av sitt totala kvävebehov vilket är ungefär 40 – 80 kg/ha N (Cramer 1993).

I Mellan- och Sydsverige har kvävehalter på hösten i vete varit 7 kg/ha i ovanjordiskt växtmaterial (Linden m.fl. 2000) och mellan 5 – 18 kg/ha, beroende på när höstvetet såddes, den högre kvävehalten uppmättes vid tidigare sådd (Myrbeck m.fl. 2012). Rågens kvävehalter på hösten har varit 14 kg/ha (Linden m.fl. 2000) och mellan 20 – 50 kg/ha (Linden & Wallgren 1988). Enligt Linden & Wallgren (1988) har stråsäden endast möjlighet att ta upp över 20 kg/ha N ifall den hinner bestocka sig på hösten.

Hösten 2012 var kväveinnehållet i rybsen lägre än jämfört med de andra försöksåren och med tanke på att hela växtens kväveinnehåll var 68 – 140 kg/ha är resultaten ganska nära sanningen eftersom tidigare forskning uppnått 100 kg/ha N på enbart ovanjordiskt växtmaterial (Linden & Wallgren 1988). Dessutom bör man komma ihåg att detta försök använde sig av rybs. Rybsen sår man tidigare och med högre utsädesmängd än rapsen och kan därför eventuellt bilda mera växtmaterial som kan assimilera mera kg/ha N. Torssell (1959) visade att rybsen har större växtmassa på hösten än rapsen och orsaken är på grund av att rybsen klarar av att växa vid lägre temperaturer. Kväveinnehållet i växterna från år 2011 visar ovanligt höga kvävehalter i såväl rybsen som rågen med ärt som förfrukt. Rågen såddes år 2011 tio dagar tidigare jämfört med de andra försöksåren så det kan bidra till en högre halt assimilerat kväve i växterna. Dejoux m.fl. (2003) visade att utlakningsrisken minskar vid tidigare såningstidpunkter på grund av att växterna har då en längre tid på sig att assimilera kväve i sina växtdelar.

Skillnaderna mellan hur mycket kväve växterna assimilerade beroende på vilken förfrukt de hade hittades inte något entydigt svar men det ser ut som om förfrukten har en sådan effekt att kvävehalten ökar från korn < ärt < träda. Iallafall är detta fallet med

rybsen och detta har antagligen att göra med hur mycket kväve de olika förfrukterna efterlämnar i marken. Ju mera kväve det finns i marken desto mera kan rybsen ta upp i sina växtdelar (Vos & van der Putten 2004).

För tillfället är det endast möjligt att gödsla höstgrödor med 30 kg/ha N på hösten enligt miljöstödet (Mavi 2009). Dessa resultat visar att vetet inte behöver mera kväve på hösten ifall markens kvävehalt är hög vid sådd eftersom vetet inte klarade av att tillgodogöra den stora andelen kväve i marken på hösten. Enligt Wallgren & Linden (1988) kan vetet endast ta upp mera än 20 kg/ha N ifall vetet hinner bestocka sig. Rågen klarade inte heller av att tillgodogöra kvävet på hösten lika bra som rybsen men det visade sig ändå att rågen var bra på att ta upp kväve på hösten förutsatt att den etablerat sig bra. Enligt Paponov m.fl. (1999) tar råg bättre upp kväve från marken än vete. Rågen assimilerade även bättre kväve än vetet vid mycket låga kvävehalter i marken och hade vid den lägre markkvävehalten mera omfattande rotsystem (Paponov m.fl. 1999). Rybsen däremot ackumulerar mycket kväve på hösten och kunde tillgodogöra sig markens kväveförråd desto mera kväve som fanns. Ifall markens kvävehalt är 15 – 30 kg/ha kan det hända att det inte räcker med en kvävegödslingsgiva på endast 30 kg/ha för rybsen. Om förfrukten varit träda eller trindsäd är det onödigt att gödsla mera än 30 kg/ha N eftersom markens kvävehalt är högre vid dessa förfrukter. Det är en mycket omdiskuterad fråga ifall 30 kg/ha N räcker för att säkerställa rapsens tillväxt på hösten (Sieling & Kage 2010). Engström m.fl. (2009) visade att det inte fanns någon skillnad på fröskörden beroende på ifall kvävegödslings givan på hösten var 30 eller 60 kg/ha. Dessutom fanns det ingen skillnad på kväveutlakningen ifall rapsen var gödslad med 0, 30 eller 60 kg/ha N. Likaså visade Henke (2008) endast en liten fröskörds ökning med 60 kg/ha ifall rapsen fick 40 kg/ha N gödsel jämfört med ingen kvävegödsling på hösten. Colnenne m.fl. (2002) konstaterade att trots att rapsen hade symptom av kvävebrist på hösten blev det inte någon minskning i fröskörden jämfört med rapsen som inte led av kvävebrist på hösten. På basis av tidigare forskningsresultat, Engström m.fl. (2009) och Colnenne m.fl. (2002), behöver inte rybsen gödslas mycket på hösten eftersom den tar upp mineraliskt kväve från marken mycket effektivt. Det är knappast nödvändigt att öka gödslingen till höstrybsen eller höstrapsen fast det inte sker någon ökning i kväveutlakningen (Engström m.fl. 2009).

6.3 Stor variation mellan grödornas användningseffektivitet av det gödslade kvävet

Vete hade år 2011 mycket bra användningseffektivitet av det gödslade kvävet. Orsaken till detta är antagligen den att vete övervintra bra och gav en bra skörd 2011. Därför kunde stor del av det gödslade kvävet tas upp av vete. Rågen hade däremot dålig användningseffektivitet av det gödslade kvävet år 2011. Orsaken kan vara att rågen inte övervintrade bra vilket resulterade i en låg växttäthet (endast 10 % av plantorna övervintrade). Enligt Blankenau & Olf (2001) är en täthet på 375 höststråsåds plantor/m² nära optimal täthet för att växterna ska kunna utnyttja kvävet i marken effektivast och uppnå största möjliga skörd. Eftersom tätheten för rågen var låg (under 100 plantor/m²) blev också skördenivån låg och rågen kunde därför inte utnyttja det gödslade kvävet. Användningseffektivitet av det gödslade kvävet för råg med ärt som förfrukt var högre än för råg med korn som förfrukt. Detta kan vara en orsak till att ärtan lämnar efter sig högre kvävehalter i marken. Rybsens användningseffektivitet av det gödslade kvävet år 2011 var mycket bra (70 %) fast rybsen inte har någon bra förmåga att translokera kväve från sina vegetativa organ till fröna (Aufhammar m.fl. 1994). Användningseffektiviteten av det gödslade kvävet vid skörden är oftast låg för rapsen och överstiger sällan 50 % av det gödslade kvävet (Jensen m.fl. 1997). Orsaken till den höga användningseffektiviteten av det gödslade kvävet för rybsen år 2011 kan vara den höga halten av kväve i marken före sådd. Dessutom lyckades övervintringen bra och kväveförlusterna under vintern var små.

Linden m.fl. (2006) visade att ökande kvävegödsling från 100 kg/ha till 125 kg/ha försämrade kornets, havretes och vårrapsens användningseffektivitet av det gödslade kvävet. Exempelvis minskade vårrapsens användningseffektivitet av det gödslade kvävet från 65 % till 59 % med en högre kvävegödsling. Kornets användningseffektivitet av det gödslade kvävet minskade från 85 % till 63 % med en högre kvävegiva (Linden m.fl. 2006).

Grödans kväveutnyttjandegrad av det gödslade kvävet räknar endast med hur mycket kväve som gödslas och hur mycket kväve som bortförs i fröskörden. Detta ger inte en exakt bild av hur mycket av det gödslade kvävet som växten kan ta tillvara eftersom växten även tar upp kväve som inte härstammar från mineralgödselmedel. Därför är

kvävet användningseffektivitet högre år 2011 än för året 2012 på grund av att växterna fått mera kväve. Eftersom kvävehalten i marken var hög på våren år 2011. Däremot var markens kvävehalt mycket låg på våren 2012.

Andelen kväve som tas upp av vete efter blomning och andelen kväve som remobiliseras har större inverkan på fröets kvävehalt än andra skördekomponenter (Dupont & Altenbach 2003). Det är många faktorer som påverkar växtens användningseffektivitet av kvävet. Bland annat påverkas kväveutnyttjandegraden av hur bra växten kan ta upp kväve från marken och hur bra växten kan translokera och remobilisera kvävet från de vegetativa växtdelarna till fröna (Rahimizadeh m.fl. 2010). Dessa faktorer påverkas ytterligare av många andra faktorer som t ex odlingsväxt, jordart, temperatur, kvävegödslingsgiva, markfuktigheten och växtföljd (Halvorson m.fl. 2001).

Enligt Rossato m.fl. (2001) tar rapsen upp endast en liten del av kvävet under blomningen och fröutvecklingen. Ungefär 50 – 70 % av mängden kväve som finns i växtens vegetativa växtdelar kommer slutligen att finnas i rapsens frö jämfört med havre och ärt som har en förmåga på 80 % att förflytta kvävet från de vegetativa växtdelarna till fröna (Engström & Linden 2009). Därtill menar Rossato m.fl. (2001) att rapsens dåliga remobilisering av kväve till fröna beror också på att kvävehalten i bladen som faller bort är över 2 % och som grundar sig på att rapsens frön antas ha en svag styrka att dra åt sig kväve. Rapsens kvävehalt börjar minska efter begynnande blomning medan vetets kvävehalt först avtar en aning före blomning och ökar sedan igen efter blomning (Gan m.fl. 2010). Ulas m.fl. (2012) observerade att raps som hade stor rottillväxt och liten tillväxt i stjälken under den vegetativa fasen hade bättre kväveutnyttjandegrad.

Rapsen behöver mera kväve per torrs substans för att bilda frön än malkorn, höstvet och sockerbeta (Sylvester-Bradley & Kindred 2009). Orsaken till skillnaden mellan rapsen och stråsåden kan delvis bero på att 45 % mera assimilationsprodukter behövs för att producera ett kg frö av hög fetthalt hos oljeväxter än hos stråsådens frö som består till största delen av stärkelse (Sinclair & de Witt 1975). För att producera 0,1 Mg av rapsfrö behövs ca 6 kg kväve (Aufhammer m.fl. 1994).

6.4 Skörde kvaliteten påverkades mindre än väntat av förfrukten

Skörde kvaliteten år 2011 var bra för spannmålen på grund av högt protein (över 13 % för vetet och över 11 % för rågen) och hög tusenkornsvikt (över 40 g för vetet och över 32 g för rågen). Proteinet var ovanligt högt för både vetet (15 %) och rågen (12 %). Proteinhalten för rybsen år 2011 var också hög (27 %). Orsaken är antagligen den att kväve inte urlakades mycket under vintern och markens kväveförråd var stort. Proteinhalten ökade med ökad markkvävehalt på våren (Bilaga 2). Korrelationen var mycket stark för vetet, rågen och rybsen. Detta överensstämmer med tidigare forskning bl.a. visade Pan m.fl. (2003) och Metho m.fl. (1997) att en hög kvävehalt i marken ökar proteinhalten i vete. Rathke m.fl. (2005) demonstrerade att rybsens proteinhalt ökar med ökad kvävegödsling. År 2012 var proteinet lågt för rågen med korn och ärt som förfrukt. Både rybs och råg med ärt som förfrukt hade högre proteinhalt än för motsvarande gröda med korn som förfrukt. Orsaken till detta är antagligen för att ärten lämnar efter sig högre andel kvävehalt i sina växtrester än kornet och det leder till en högre mängd kvävemineri i marken efter ärt (Stoddard m.fl. 2009). Anledningen till den låga proteinhalten år 2012 kan vara ett resultat av att kväveförlusterna var mycket höga över vintern 2011-2012.

Oljehalten för rybsen var låg år 2011 (under 38 %) medan proteinhalten var hög. År 2012 hade rybs med ärt som förfrukt högre proteinhalt och lägre oljehalt än rybs med korn som förfrukt. Det beror på den negativa korrelationen som finns mellan protein och oljehalten och dessa resultat var förväntade (Hao m.fl. 2004). Oljehalten steg med sjunkande proteinhalt och det var en mycket stark negativ korrelation mellan oljehalten och proteinhalten för fröskörden av rybs 2011 och 2012 (Bilaga 3). Ju större mängd kväve som assimilerats i växten desto större mängd använder rybsen/rapsen kolhydrater för att bygga upp proteiner. Därför ökar proteinhalten med ökad kvävehalt i marken men då sker det en minskning i oljehalten eftersom rybsen/rapsen inte använder kolhydraterna för att producera fettsyror (Zhang m.fl. 2012). En låg oljehalt kan också förklaras med genetik. Enligt Delourme m.fl. (2006) finns det genetiska skillnader mellan oljeväxternas fettsyrasyntes så att vissa oljeväxt sorter har en förmåga att producera en större oljehaltkoncentration i fröna än andra. Delourme m.fl. (2006) visade att den högsta oljehalten var 54 %. Vid tillräcklig nederbörd och en låg temperatur (< 18

°C) under fröutvecklingen blir oljehalten hög eftersom en låg temperatur och tillräckligt med vatten åt plantan förlänger blomningen och fettsyrsyntesen (Pritchard m.fl. 2000). Däremot leder torka och höga temperaturer till en minskad oljehalt i raps (Jensen 1996). Rapsen lider av hög temperaturstress om temperaturen är högre än 27 °C vid blomning (Morrison & Stewart 2002).

Klorofyllhalten i rybsen år 2011 var bra (under 21 %) medan den 2012 var dålig (över 21 %). Enligt Ward m.fl. (1994) minskar klorofyllhalten i rapsfröna desto längre fröna hinner mogna. Därtill kan klorofyllhalten öka ifall rapsen lider av torka, höga temperaturer eller blir utsatt för kalla temperaturer under fröutveckling och frömognad (Green m.fl. 1998). Klorofyllhalten påverkas även av genetiska skillnader (Ghassemi-Golezani m.fl. 2010). Väderleken under fröutvecklingen och frömognaden för sommaren 2011 och 2012 orsakade ingen stress för rybsen så den högre klorofyllhalten kan inte förklaras med någon stressfaktor. Däremot kan skillnaden mellan klorofyllhalten ha påverkats av genetiska skillnader mellan rybssorterna (Ghassemi-Golezani m. fl. 2010).

Skörden år 2011 var bra för rybsen (över 1500 kg/ha). Rybsen klarade vintern bra år 2010-2011 och det bidrog till stor del att rybsens skördenivå blev bra. Rybsens skörd 2012 var ganska bra både för ärt och korn som förfrukt (ca 1400 kg/ha) fast den inte nådde år 2011 nivå (ca 2000 kg/ha). Rybsens skördenivå med ärt som förfrukt borde ha varit större än rybsskörden med korn som förfrukt (Christen & Sieling 1995) och de förväntade resultaten uppnåddes inte.

Hektolitervikten var hög för både vetet (83 kg) och rågen (74 kg) år 2011. Orsaken till den höga hektolitervikten kan vara för att medeltemperaturen var högre än normalt och nederbörden var mycket mindre än den genomsnittliga nederbördsmängden. Väderleksförhållanden spelar stor roll för hektolitervikten. Speciellt andelen nederbörd och solsken under sommaren inverkar på hektolitervikten för höstvetet (Kettlewell m.fl. 2003) på grund av att solstrålning ökar fotosyntesen och kolhydratssyntesen (Brocklehurst m.fl. 1978). År 2012 var hektolitervikten mindre för både rågen och vetet än hektolitervikten år 2011. Orsaken kan vara att väderleken var mycket svalare och nederbörden högre för år 2012.

Tusenkorndvikten var hög för rågen (37 g) och hög för vetet (41 g) år 2011. År 2012 var tusenkorndvikten 14 % högre för råg med korn som förfrukt än för råg med ärt som förfrukt. Enligt Grashoff & Antuono (1997) kan spannmål med högre kvävetillgång få mindre kärnvikt än spannmål med lägre kvävetillgång på grund av att kvävegödsling ökade antalet frön/m² men inte inverkar på frönas tillgång på assimilationsprodukter. Skördenivån för spannmålen år 2011 var ganska bra för vetet (över 3500 kg/ha) medan den för rågen var dålig (under 1500 kg/ha). Orsaken till varför rågens skörd blev dålig är på grund av den svaga övervintringen från hösten 2010 till våren 2011. År 2012 hade råg med ärt som förfrukt högre skördenivå än råg med korn som förfrukt och dessa resultat överensstämde med tidigare forskning (Badaruddin & Meyer 1994, Dalal m.fl. 1998, Shah m.fl. 2003). På grund av att ärt lämnar efter sig högre kvävemängden i marken kan skördenivån av följande spannmålsgröda öka (Shah m.fl. 2003).

6.5 Övervintringen gick inte som väntat

Tyvärr övervintrade höstsäden ganska dåligt under försöksåren 2010-2013. Orsaken är antagligen den att snötäcket varade länge under vintrarna 2010-2013 och dessutom var snötäcket tjockare än normalt vilket ledde till att spannmålen blev svårt skadat av snömögel (*Microdochium nivale* var. *majus*). Om snötäcket varar längre än två månader och snön faller på ofrusen mark ökar risken för snömögelangrepp på vete och råg. Däremot kan inte rybsen angripas av snömögel. Dessutom ökar snömögelangreppen ifall det varit en våt höst (Jämäläinen 1978). Därtill kan temperaturer > 0 °C under snötäcket leda till att växtens respiration utarmar kolhydratsreserverna för växten (Tuulos m.fl. 2014).

Ett skyddande snötäcke är bra för rybsen på grund av att snötäcket skyddar och isolerar rybsens tillväxtpunkt från kylan och de vanligaste orsakerna till att rybsen övervintrar dåligt är frost och vattenmättnad (Jämäläinen 1978). Övervintringen är i allmänhet dålig för höstrapsen och höstrybsen i nordliga klimat på grund av den måste sås tidigt för att kunna hinna acklimatisera sig till låga temperaturer. Ifall den inte hinner acklimatisera sig kan rybsen dö av frostsador (Johnson m.fl. 1995). Däremot är övervintringen i Finland bättre för höstvetet och råg eftersom de tål kyla bättre och kan acklimatisera sig bättre till låga temperaturer (Jämäläinen 1958). Övervintringen var mycket dålig för

vetet och rågen under åren 2010 – 2011, 2011 – 2012 och 2012 – 2013 medan höstrybsen hade en mycket bra odlingssäkerhet.

6.6 Förslag till vidare forskning

Ytterligare forskning kring höstkvävegödslingsnivåerna för höstrybsen i Finland borde utföras för att se ifall ökad kvävemängd har betydelse för övervintringen och skördenivån för rybsen. Både Engström m.fl. (2009) och Colnenne m.fl. (2002) utförde sina försök på sydligare breddgrader och det kan hända att kväve mineraliseringen sker i större utsträckning där vilket kan bidra till att kvävegödslingen på hösten kan vara mindre än i Finland.

7 SLUTSATSER

I försöket undersöktes rybsens, rågens och vetets förmåga att ta upp kväve på hösten för att minska kväveurlakningen. Jämfört med vete och råg ackumulerade rybsen en mycket större mängd kväve i sina växtdelar på hösten. Rågen däremot ackumulerade mera kväve än vetet. Tyvärr är markkvävehalterna höga efter skörd av rybs så fast kvävet utlakningsrisk minskar på hösten efter sådden är utlakningsrisken däremot högre efter skörden av rybsen. Om man sår höstvete efter rybs är den mängd som vetet tar upp på hösten ganska ringa. Däremot kan rågen minska en betydande del av kväveutlakningen. Förutsatt att rågen sås tidigt och etablerar sig väl på hösten.

8 TACK

Jag vill tacka min handledare professor Pirjo Mäkelä för handledning och goda råd vilka gjort det möjligt att förverkliga detta examensarbete. Jag vill även tacka doktorand Antti Tuulos som fungerat som en andra handledare under hela examensarbetet. Jag vill också tacka Markku Tykkyläinen för all hjälp med fältförsöken.

9 KÄLLOR

- Addiscott, T. M. & Powlson, D. S. 1992. Partitioning losses of nitrogen fertilizer between leaching and denitrification. *Journal of Agricultural Science* 118: 101-107.
- Af Geijersstam, L. & Mårtensson, A. 2006. Nitrogen fixation and residual effects of field pea intercropped with oats. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science* 56: 186-196.
- Agehara, S. & Warncke, D. D. 2005. Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1844–1855.
- Askegard, M., Olesen, J. E., Rasmussen, I. A. & Kristensen, K. 2011. Nitrate leaching from organic arable crop rotations is mostly determined by autumn field management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 142: 149–160.
- Aufhammer, W., Kübler, E. & Bury, M. 1994. Nitrogen uptake and nitrogen residuals of winter oilseed rape and fallow rape. *J. Agron. Crop Sci.* 172, 255–264
- Badaruddin, M. & Meyer, D.W. 1994. Grain legume effects on soil nitrogen, grain yield and nitrogen nutrition on wheat. *Crop Sci.* 34: 1304-1309.
- Bengtson, P. & Bengtsson, G. 2005. Bacterial immobilization and remineralization of N at different growth rates and N concentrations *FEMS Microbiology Ecology* 54: 13-19.
- Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. 1997. Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants BBCH-Monograph. Blackwell Wissenschafts-Verlag. Berlin. Tyskland. 626 s.
- Bjorneberg, D. L., Kanwar, R. S. & Melvin, S.W. 1996. Seasonal changes in flow and nitrate-N loss from subsurface drains. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 39: 961–976.
- Bregliani, M. M., Ros, G. H., Temminghoff, E. J. M. & Van Riemsdijk, W. H. 2010. Nitrogen Mineralization in Soils Related to Initial Extractable Organic Nitrogen: Effect of Temperature and Time. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41: 1383–1398.
- Cameron, K. C., Di, H. J. & McLaren R. G. 1997. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? *Austr. J. Soil Res.* 35: 995–1035.
- Cameron, K. C., Di, H. J. & Moir, J. L. 2012. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. *Ann Appl Biol* 162: 145–173.

- Chalk, P. M. 1998. Dynamics of biologically fixed N in legume cereal rotations: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* 49: 303-16.
- Christen, O. & Sieling, K., 1995. Effect of different preceding crops and crop rotations on yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L). *J. Agron. Crop Sci.* 174: 265–271.
- Christen, O., Sieling, K. & Hanus, H. 1992. The effect of different preceding crops on the development, growth and yield of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 1: 21-28.
- Colnenne, C., Meynard, J.-M., Roche, R. & Reau, R. 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape, *Eur. J. Agron.* 17: 11–28.
- Costa, J. M., Bollero, G. A. & Coale, F. J. 2000. Early season nitrogen accumulation in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition* 23(6): 773-783.
- Crawford, N. M. 1995. Nitrate: Nutrient and Signal for Plant Growth. *The Plant Cell* 7: 859-868.
- Cramer, N. 1993. Umweltverträglichkeit der N-Versorgung des Rapses. *Raps* 11, 4–7
- Creamer, N. G., Bennett, M. A., Stinner, B. R., Cardina, J. & Regnier, E. E. 1996. Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production system. *Hortscience* 31(3): 410–413.
- Dabney, S. M., Delgado, J. A. & Reeves, D. W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32: 1221-1250.
- Dabney, S. M., Schreiber J. D., Rothrock, C. S., & J. R. Johnson. 1996. Cover Crops Affect Seedling Growth. *Agron. J.* 88:961–970.
- Dalal, R. C., Strong, W. M., Weston, E. J., Cooper, J. E., Wildermuth, G. B., Lehane, K. J., King, A. J. & Holmes C. J. 1998. Sustaining productivity of a Vertisol at Warra, Queensland, with fertilisers, no-tillage, or legumes. 5. Wheat yields, nitrogen benefits and water-use efficiency of chickpea-wheat rotation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38(5): 489-501.
- Dejoux, J., Meynard, J., Reau, R., Roche, R. & Saulas, P. 2003. Evaluation of environmentally-friendly crop management systems based on very early sowing dates for winter oilseed rape in France. *Agronomie* 23: 725–736.
- Dejoux, J.F., Recous, S., Meynard, J.M., Trinsoutrot, I. & Leterme, P. 2000. The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring. *Plant Soil* 218: 257–272.
- Delourme, R., Falentin, C., Huteau, V., Clouet, V., Horvais, R., Gandon, B., Specel, S., Hanneton, L., Dheu, J. E., Deschamps, M., Margale, E., Vincourt, P. & Renard,

- M. 2006. Genetic control of oil content in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Theor Appl Genet* 113: 1331–1345.
- De-Zhi, Y., De-Jian, W., Rui-Juan, S. & Jing-Hui, L. 2006. N Mineralization as Affected by Long-Term N and Its Relationship with Crop N Uptake Fertilization. *Pedosphere* 16(1): 125-130.
- Di, H. J. & Cameron, K. C. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46: 237–256.
- Dobbie, K. E. & Smith, K. A. 2001. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. *European Journal of Soil Science* 52: 667–673.
- Donovan, W. C. & Logan, T. J. 1983. Factors affecting ammonia volatilization from sewage sludge applied to soil in a laboratory study. *Journal of Environmental Quality*. 12: 584-590.
- Dupont, F. M. & Altenbach, S. B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science* 38: 133-146.
- Engström, L. & Linden, B. 2009. Importance of soil mineral N in early spring and subsequent net N mineralisation for winter wheat following winter oilseed rape and peas in a milder climate. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil and Plant Science* 59: 402-413.
- Engström, L., Stenberg, M. & Lindén, B. 2009. Methods to reduce nitrate leaching after winter oilseed rape and peas, EuropeanWorkshop 'N fertilization of winter oilseed rape', 23–24 March 2009, Berlin, Germany, http://www.pflanzenbau.uni-kiel.de/veranstaltungen/n-duengung_wraps/Engstroem.pdf (08/09/2009).
- Engström, L., Stenberg, M., Aronsson, H. & Linden, B. 2011. Reducing nitrate leaching after winter oilseed rape and peas in mild and cold winters. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 337–347.
- Europeiska Kommissionen 2013. Rapport från kommissionen till rådet och europaparlamentet om genomförandet av rådets direktiv 91/676/EEG om skydd mot att vatten förorenas av nitrater från jordbruket, på grundval av medlemsstaternas rapporter för perioden 2008–2011. Tillgänglig på: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0683:FIN:SV:PDF>. Sökt den 29.2.2014.
- FMI 2014. Finska Meteorologiska Institutet. Månatlig statistik. Tillgänglig på: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>. Sökt den 12.1.2014.

- Francis, G. S., Haynes, R. J. & Williams, P. H. 1994. Nitrogen mineralization, nitrate leaching and crop growth after plowing-in leguminous and non-leguminous grain crop residues. *The Journal of Agricultural Science* 123: 81-87.
- Froment, M. A., Chalmers, A. G., Collins, C. & Grylls, J. P. 1999. Rotational set-aside; influence of vegetation and management for one-year plant covers on soil mineral nitrogen during and after set-aside at five sites in England. *Journal of Agricultural Science* 133: 1-19.
- Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D.G., Boyer, E.W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E.A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Porter, J. H., Townsend, A. R. & Vörösmarty, C. J. 2004. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* 70: 153-226.
- Gan, Y., Cambell, C. A., Janzen, H. H., Lemke, R. L., Basnyat, P. & McDonald, C. L. 2010. Nitrogen accumulation in plant tissues and roots and N mineralization under oilseeds, pulses, and spring wheat. *Plant Soil* 332: 451–461.
- Geetanjali, N .G. 2007. Symbiotic nitrogen fixation in legume nodules: process and signaling. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 27: 59–68.
- Ghassemi-Golezani, K., Bakhshy, J., Raey, Y. & Hossainzadeh-Mahootchy, A. 2010. Seed Vigor and Field Performance of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 38 (3): 146-150.
- Glenn, M. G., Chew, F. S. & Williams, P. H. 1985. Hyphal penetration of Brassica (cruciferae) roots by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *Net Phytol.* 99: 463-472.
- Grashoff, C. & D'Antuono, L. F. 1997. Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *European Journal of Agronomy* 6: 275–293.
- Green, B. R., Singh, S., Babic, I., Bladen, C. & Johnson-Flanagan, A. M. 1998. Relationship of chlorophyll, seed moisture and ABA levels in the maturing *Brassica napus* seed and effect of a mild freezing stress. *Physiologia planetarium* 104: 125-133.
- Green, C. J. & Blackmer, A. M. 1995. Residue Decomposition Effects on Nitrogen Availability to Corn following Corn or Soybean. *Soil Science Society of America Journal* 59: 1065-1070.
- Gustafson, A. 1983. Leaching and nitrate from arable land into groundwater in Sweden, *Environ. Geol.* 5: 65–71.

- Halvorson A. D., Wienhold B. J. & Black, A. L. 2001. Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agron J* 93: 836-841.
- Hansen, E. M., Eriksen, J. & Vinther, F. P. 2007. Catch crop strategy and nitrate leaching following grazed grass-clover. *Soil Use and Management* 23: 348–358.
- Hao, X., Chang, C. & Travis, G.J., 2004. Short communication: effect of long-term cattle manure application on relations between nitrogen and oil content in canola seed. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 214–215.
- Hauggaard-Nielsen, H., Ambus, P. & Jensen, E. S. 2003. The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65: 289–300.
- Henke, J. 2008. Entwicklung und Bewertung von Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz im Winterrapsanbau, Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Agrarwissenschaftlichen Fakultät der CAU, Band 54.
- Inderjit & Keatin K. I., 1999. Allelopathy: Principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advanced agronomy* 67: 141-231.
- Isermann, K. 1990. Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication. *Fertilizer research* 26: 253-269.
- Jamalainen, E.A. 1978. Peltokasvien talvehtiminen Suomessa [Wintering of field crops in Finland]. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 50: 468-519.
- Jamalainen, E.A. 1958. Kasvien talvehtimisesta ja sen parantamismahdollisuuksista. *Kasvinsuojeluseuran julkaisuja* 13: 1-39.
- Jenkinson, D. S. 2001. The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture. *Plant and Soil* 228: 3–15.
- Jensen E. S., Peoples, M. B. & Hauggaard-Nielsen, H. 2010. Faba bean in cropping systems. *Field Crops Research* 115: 203–216.
- Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Mortensen, G., Fieldsend, J. K., Milford, G. F. J., Andersen, M. N. & Thage, J. H., 1996. Seed glucosinolate, oil and protein contents of field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) affected by soil drying and evaporative demand. *Field Crops Res.* 47: 93-105.
- Jensen, E. S. 1996. Rhizodeposition of N by pea and barley and its effect on soil N dynamics. *Soil Biol Biochem* 28: 65–71.

- Jensen, L. S., Christensen, L., Mueller, T. & Nielsen, N. E. 1997. Turnover of residual ^{15}N -labelled fertilizer N in soil following harvest of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil* 190: 193-202.
- Johnson, B. L., McKay, K. R., Schneiter, A. A., Hanson, B. K. & Schatz, B. G. 1994. Influence of Planting Date on Canola and Crambe Production. *Journal of Production Agriculture* Vol. 8 No. 4: 594-599.
- Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. & Vuorinen, M. 1998. Timing incorporation of different green manure crops to minimize the risk of nitrogen leaching. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 553-567.
- Kaspar, T. C., Jaynes, D. B., Parkin, T. B., Moorman, T. B. & Singer, J. W. 2012. Effectiveness of oat and rye cover crops in reducing nitrate losses in drainage water. *Agricultural Water Management* 110: 25-33.
- Kettlewell, P. S., Stephenson, D. B., Atkinson, M. D. & Hollins, P. D. 2003. Summer rainfall and wheat grain quality: Relationships with the North Atlantic Oscillation. *Weather* 58: 155-164.
- Kirchmann, H. & Lundvall, A. 1998. Treatment of solid animal manures: identification of low NH_3 emission practices. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 65-71.
- Kirchmann, H., Esala, M., Morken, J., Ferm, M., Bussink, W., Gustavsson, J. & Jakobsson, C. 1998. Ammonia emissions from agriculture Summary of the Nordic seminar on ammonia emission, science and policy. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 1-3.
- Kuo, S., Sainju, U. M. & Jellum, E. J. 1997. Winter cover crops effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Science Society of America Journal* 61: 145-152.
- Lindén, B. & Wallgren, B. 1988. Kväveanrikning på träda –utlakningsrisker och motåtgärder. Konsulentavdelningens rapporter, Sveriges lantbruks universitet, Allmänt 136: 139-151.
- Lindén, B. 1980. Mineralkvävets årstidsvariationer i åkermark. Konsulentavdelningens rapporter, Allmänt 23, SLU.
- Lindén, B. 2005. Kvävemineralisering under olika årstider och nitratbildning efter flytgödselspridning på hösten-inverkan på grödornas kväveförsörjning och på utlakningsrisken. Rapport från växtodlings- och växtskydds dagar i Växjö. (Meddelande från Södra jordbruksförsöksdistriktet) 1-11.
- Lindén, B., Aronsson, H., Engström, L., Torstensson, G. & Rydberg, T. 2006. Kvävemineralisering och utlakning av kväve och fosfor på en lerjord vid Lanna i Västergötland. Inverkan av kvävegödslingsintensitet, jordbearbetning på hösten

och engelskt rajgräs som insådd fånggröda. Avdelningen för vattenvårdslära. Ekohydrologi 91.

- Lindén, B., Roland, J. & Tunared, R. 2000. Höstsäds kväveupptag under hösten. Institutionen för jordbruksvetenskap Skara. Serie B Mark och växter rapport 5.
- Liu, Y., Wu, L., Baddeley, J. A. & Watson, C. A. 2011. Models of biological nitrogen fixation of legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 31: 155–172.
- Löfgren, S., Steineck, S. & Ståhlacke, P. 1999. Agricultural Development and Nutrient Flows in the Baltic States and Sweden after 1988. *Ambio*, Vol. 28, Nr 4: 320-327.
- Maag, M. & Vinther, F. P. 1996. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. *Applied Soil Ecology* 4: 5-14.
- Macdonald, A. J., Poulton, P. R., How, M. T., Goulding, K. W. T. & Powlson, D. S. 2005. The use of cover crops in cerealbased cropping systems to control nitrate leaching in SE England. *Plant and Soil* 273: 355-373.
- Maidl, F. X., Haunz, F. X., Panse, A. & Fischbeck, G. 1996. Transfer of grain legume nitrogen within a crop rotation containing winter wheat and winter barley. *Journal of Agronomy Crop Sciences* 176: 47-57.
- Mavi 2009. Gödsling enligt villkoren för miljöstöd 2007–2013. Tillgänglig på: <http://www.mavi.fi/sv/guider-och-anvisningar/odlare/Documents/G%C3%B6dsling%20enligt%20villkoren%20f%C3%B6r%20milj%C3%B6st%C3%B6d%2020072013.pdf>. Sökt den 27.2.2014.
- Mattson, L. & Brink, N. 1980. Gödslingsprognoser för kväve. SLU. Institutionen för markvetenskap, Avdelning för växtnäringslära, rapport 130.
- Marinciu, C. & Saulescu, N. N. 2009. Grain yield and protein concentration in winter wheat cultivars tested with and without nitrogen fertilizer. *Romanian agricultural research* 26: 13-19.
- Meisinger, J. J. & Delgado, J. A. 2002. Principles for managing nitrogen leaching. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(6): 485-498.
- Meisinger, J. J., Hargrove, W. L., Mikkelsen, R. L., Williams, J. R. & Benson, V. W. 1991. Effects of cover crops on groundwater quality. *Soil and Water Conservation Society. Groundwater impacts* 57-67.
- Mertz, E. T. 1978. Methods for Improving Cereal Protein Quality. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 105: 275-279.

- Metho, L. A., Hammes, P. S., de Beer, J. M. & Groeneveld, H. T. 1997. Interaction between cultivar and soil fertility on grain yield, yield components and grain nitrogen content of wheat. *S. Afr. Tydskr. Plant Grond* 14.
- Michelsen, A., Schmidt, I. K., Jonasson, S., Quarmby, C. & Sleep, D. 1996. Leaf ^{15}N abundance of subarctic plants provides field evidence that ericoid, ectomycorrhizal and non-and arbuscular mycorrhizal species access different sources of soil nitrogen. *Oecologia* 105: 53-63.
- Morrison, M.J. & Stewart, D.W. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. *Crop Science* 42: 797-803.
- Mueller, T. & Thorup-Kristensen, K. 2001. N-Fixation of Selected Green Manure Plants in an Organic Crop Rotation. *Biological Agriculture & Horticulture* 18: 345-363.
- Myrbeck, Å., Stenberg, Maria., Arvidsson, J. & Rydberg, T. 2012. Effects of autumn tillage of clay soil on mineral N content, spring cereal yield and soil structure over time. *European Journal of Agronomy* Vol 37, Issue 1: 96-104.
- Nayyar, A., Hamel, C., Hanson, K. & Germida, J. 2009. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand. *Mycorrhiza* 19: 239–246.
- Page, K. L., Menzies, N. W. & Dalal, R. C. 2003. Using quantity/intensity relationships to assess the potential for ammonium leaching in a Vertosol. *Australian Journal of soil research* 41: 207-214.
- Palta, J. A. & Fillery, I. R. P. 1995. N Application Increases Pre-anthesis Contribution of Dry Matter to Grain Yield in Wheat Grown on a Duplex Soil. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 507-518.
- Pan, J., Yan, C., Dong, J., Tingbo, D., Yingxue, L. & Weixing, C. 2006. Modeling plant nitrogen uptake and grain nitrogen accumulation in wheat. *Field Crops Research* 97: 322-336.
- Powelson, D. S., Hart, P. B. S., Poulton, P. R., Johnston, A. E. & Jenkinson, D. S. 1992. Influence of soil type, crop management and weather on the recovery of ^{15}N -labelled fertilizer applied to winter wheat in spring. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 118: 83–100.
- Pritchard, F. M., Eagles, H. A., Norton, R. M., Salisbury, P.A. & Nicolas, M., 2000. Environmental effects on seed composition of Victorian canola. *Aust. J. Exp. Agric.* 40: 679–685.
- Rahimizadeh, M., Kashani, A., Zare-Feizabadi, A., Koocheki, A. & Nassiri-Mahallati, M. 2010. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. *Australian Journal of Crop Science.* 4(5): 363-368.

- Rastas, M., Latvala, S. & Hannukkala, A. 2012. Occurrence of *Plasmodiophora brassicae* in Finnish turnip rape and oilseed rape fields. *Agricultural and Food Science* 21: 141-158.
- Rathke, G. W., Behrens, T. & Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 117: 80–108
- Rathke, G. W., Christen, O. & Diepenbrock, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Res.* 94: 103–113
- Reeleder, R. D., Miller, J. J., Ball, Coelhoa, B. R. & Roy, R.C. 2006. Impacts of tillage, cover crop, and nitrogen on populations of earthworms, microarthropods, and soil fungi in a cultivated fragile soil. *Applied Soil Ecology* 33: 243–257.
- Rossato, L., Lainé, P. & Ourry, A., 2001. Nitrogen storage and remobilization in *Brassica napus* L. during the growth cycle: nitrogen fluxes within the plant and changes in soluble protein patterns. *Journal of Experimental Botany* 52:1655-1663.
- Ryan, M. H., Kirkegaard, J. A. & Angus, J. F. 2006. Brassica crops stimulate soil mineral N accumulation, *Aust. J. Soil Res.* 44: 367–377.
- Salo, T., Lemola, R. & Esala, M. 2007. National and regional net nitrogen balances in Finland in 1990-2005. *Agricultural and Food Science* 16 (4): 366-375.
- Sapkotaa, T. B., Askegaard, M., Lægdsmand, M. & Olesen, J. E. 2012. Effects of catch crop type and root depth on nitrogen leaching and yield of spring barley. *Field Crops Research* 125: 129–138.
- Sarwar, M., Kirkegaard, J. A., Wong, P. T. W., & Desmarchelier, J. M. 1998. Biofumigation potential of brassicas. III. In vitro toxicity of isothiocyanates to soil-borne fungal pathogens. *Plant and Soil* 201: 103-112.
- Schultz, J. E. R., 1972. Undersøgelser af vinterrapsens (*Brassica napus* L.) tørstofproduktion og næringsstofoptagelse gennem vækstperioden. *Tidskrift for Planteavl.* 76: 415-435
- Shah, Z., Shah, S. H., Peoples, M. B., Schwenke, G. D. & Herridge, D. F. 2003. Crop residue and fertiliser N effects on nitrogen fixation and yields of legume–cereal rotations and soil organic fertility. *Field Crops Research* 83: 1–11.
- Sieling, K. & Kage, H. 2006. N balance as an indicator of N leaching in an oilseed rape – winter wheat – winter barley rotation, *Agric. Ecosyst. Environ.* 115: 261–269.
- Sieling, K., Gunther-Borstel, O., Teebken, T. & Hanus, H. 1999. Soil mineral N and N net mineralization during autumn and winter under an oilseed rape – winter wheat

- winter barley rotation in different crop management systems, *J. Agric. Sci.* 132: 127–137.
- Sigunga, D. O., Janssen, B. H. & Oenemo, O. 2002 .Denitrification risks in relation to fertilizer nitrogen losses from vertisols and phaeozems. *Commun. Soil sci. Plant anal.* 33: 561–578.
- Simek, M., Jisova, L. & Hopkins, D.W. 2002. What is the so-called optimum pH for denitrification in soil? *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1227–1234.
- Simmelsgaard, S. E. 1998. The effect of crop, N-level, soil type and drainage on nitrate leaching from Danish soil. *Soil Use and Management* 14: 30-36.
- Sinclair, T. R. & de Witt, C. T 1975. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. *Science* 189: 565-567
- Singer, J. W., Nusser, S. M. & Alf, C. J. 2007. Are cover crops being used in the US corn belt? *Journal of Soil and Water Conservation* 62: 353-358.
- Sippola, J. & Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Ann Agric 20 Fenn* 24:117-124
- Snapp, S. S., Swinton S. M., Labarta, R., Mutch, D., Black, J. R, Leep, R., Nyiraneza, J. & O'Neil, K. 2005. Evaluating cover crops for benefits, costs and performance within Cropping system niches. *American Society of Agronomy* 97: 322–332.
- Specel, S., Hanneton, L., Dheu, J. E., Deschamps, M., Margale, E., Vincourt, P. & Renard, M.2006. Genetic control of oil content in oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Theor Appl Genet* 113: 1331–1345.
- Staver, K. W. & Brinsfield, R. B. 1998. Using cereal grain winter cover crops to reduce groundwater nitrate contamination in the mid-Atlantic coastal plain. *Journal of Soil and Water Conservation* 53(3): 230-240.
- Stenberg, M. 1998. Soil tillage influences on nitrogen conservation. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Agraria* 129. Doktorsavhandling.
- Stenberg, M., Aronsson, H., Linden, B. E., Rydberg, T. & Gustafson, A. 1999. Soil mineral nitrogen and nitrate leaching losses in soil tillage systems combined with a catch crop. *Soil & Tillage Research* 50: 115-125.
- Stivers-Young, L. J. & Tucker, F. A. 1999. Cover-cropping practices of vegetable producers in western New York. *Horttechnology* July–September 9(3).
- Stoddard, F. L., Hovinen, S., Kontturi, M., Lindström, K. & Nykänen, A., 2009. Legumes in Finnish agriculture: history, present status and future prospects. *Agricultural and food science* 18: 191-205.

- Sun, H. Y., Deng, S. P. & Raun, W. R. 2004. Bacterial Community Structure and Diversity in a Century-Old Manure-Treated Agroecosystem. *Applied and environmental microbiology* 70: 5868–5874.
- Sylvester-Bradley, R. & Kindred, D. R. 2009. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany* 60: 1939–1951.
- Talgre, L., Lauringson, E., Makke, A. & Lauk, R. 2011. Biomass production and nutrient binding of catch crops. *Zemdirbyste=Agriculture* 98: 251-258.
- Tisdale, S. L., Havlin, J. L., Beaton, J. D. & Nelson, W. L., 1999. *Soil Fertility and Fertilizers – An Introduction to Nutrient Management* 6th edition. New Jersey, USA: Prentice Hall. s. 499.
- Torssell, B. 1959. Hardiness and survival of winter rape and winter turnip rape. *Almqvist & Wiksells boktryckeri AB. Uppsala. s.168.*
- Turtola, E. 2007. Preface. *Agricultural and Food Science* 16 4: 279-281.
- Turtola, E., Alakukku, L., Uusitalo, R. & Kaseva, A. 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agricultural and Food Science* 16: 332-351.
- Tuulos, A., Turakainen, M., Jaakkola, S., Kleemola, J. & Mäkelä, P. S. A. 2014. Forage and seed yield of winter turnip rape established as a mixed crop with cereals. *Journal of Agricultural Science* 1-14.
- Ulas, A., auf'm Erley, G. S., Kamh, M., Wiesler, F. & Horst, W. J. 2012. Root-growth characteristics contributing to genotypic variation in nitrogen efficiency of oilseed rape. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175: 489–498.
- Unger, P. W. & Vigil, M. F. 1998. Cover crop effects on soil water relationships. *Journal of Soil and Water Conservation* 53(3): 200-207.
- Vagstad, N., Stålnacke, P., Andersen, H.-E., Deelstra, J., Jansons, V., Kyllmar, K., Loigu, E., Rekolainen, S. & Tumas, R. 2004. Regional variations in diffuse nitrogen losses from agriculture in the Nordic and Baltic regions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8, 651-662.
- Vos, J. & van der Putten, P. E. L. 2004. Nutrient cycling in a cropping system with potato, spring wheat, sugar beet, oats, and nitrogen catch crops. II. Effect of catch crops on nitrate leaching in autumn and winter. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 23-31.
- Wallgren, B. & Linden, B. 1991. Träda och gröngödslingsgrödor – utlakningsrisker och kväve efterverkan. *Lantbrukskonferens 1988. SLU. Konsumentavdelningens rapporter, Allmänt* 136.

- Ward, K., Scarth, R., Daun, J.K. & Vessey, J.K. 1994. Chlorophyll degradation in summer oilseed rape and summer turnip rape during seed ripening. *Canadian journal of plant science* 413-420.
- Willems, A. & Collins, M. D. 1993. Phylogenetic analysis of rhizobia and agrobacteria based on 16S rRNA gene sequences. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 43: 305–313.
- Wu, L. & McGechan, M. B. 1998. A review of Carbon and Nitrogen Processes in Four Soil Nitrogen Dynamic Models. *J. Agric. Eng. Res.* 69: 279-305.
- Ylivainio, K., Esala, M. & Turtola, E. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat kirjallisuuskatsaus. *Maa ja elintarviketalous* 12 74 s.
- Zhang, Z.-H., Song, H.-X., Liu, Q., Rong, X.-M., Peng, J.-W., Xie, G.-X., Zhang, Y.-P., Chen, L.-R., Guan, C.-Y. & Gu, J.-D. 2012. Responses of Seed Yield and Quality to Nitrogen Application Levels in Two Oilseed Rape (*Brassica napus* L.) Varieties Differing in Nitrogen Efficiency. *Plant Prod. Sci.* 15(4): 265-269.

Bilaga 1.

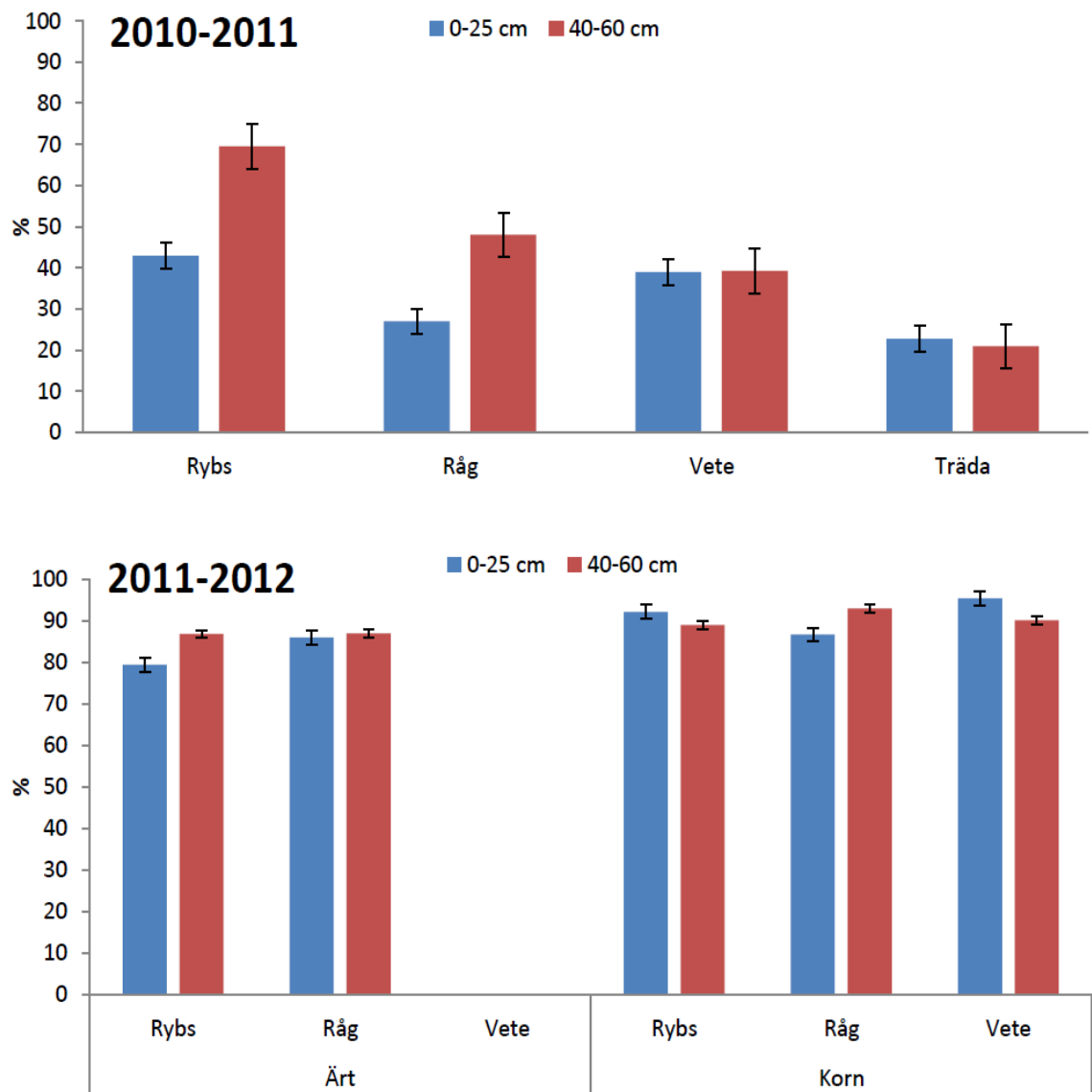


Diagram 8. Andelen förändring i kvävehalten i marken från hösten 26.8.2010 till våren 2.5.2011 och från hösten 21.7-7.9.2011 till våren 7.5.2011. Resultaten utgörs av medeltal \pm SEM, (n=4).

Bilaga 2.

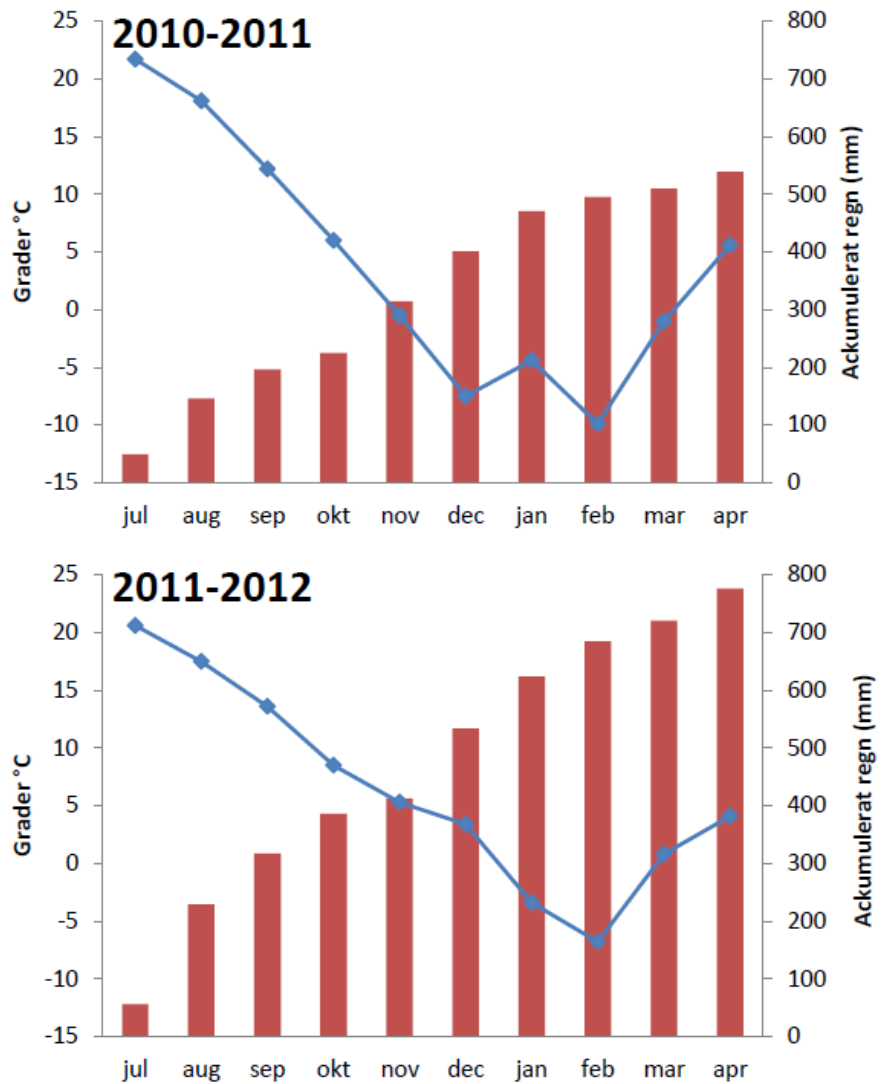


Diagram 9. Medeltalstemperaturer och mängden ackumulerat regn från juli till april för åren 2010 - 2011 och 2011 – 2012 (FMI 2014).

Bilaga 3.

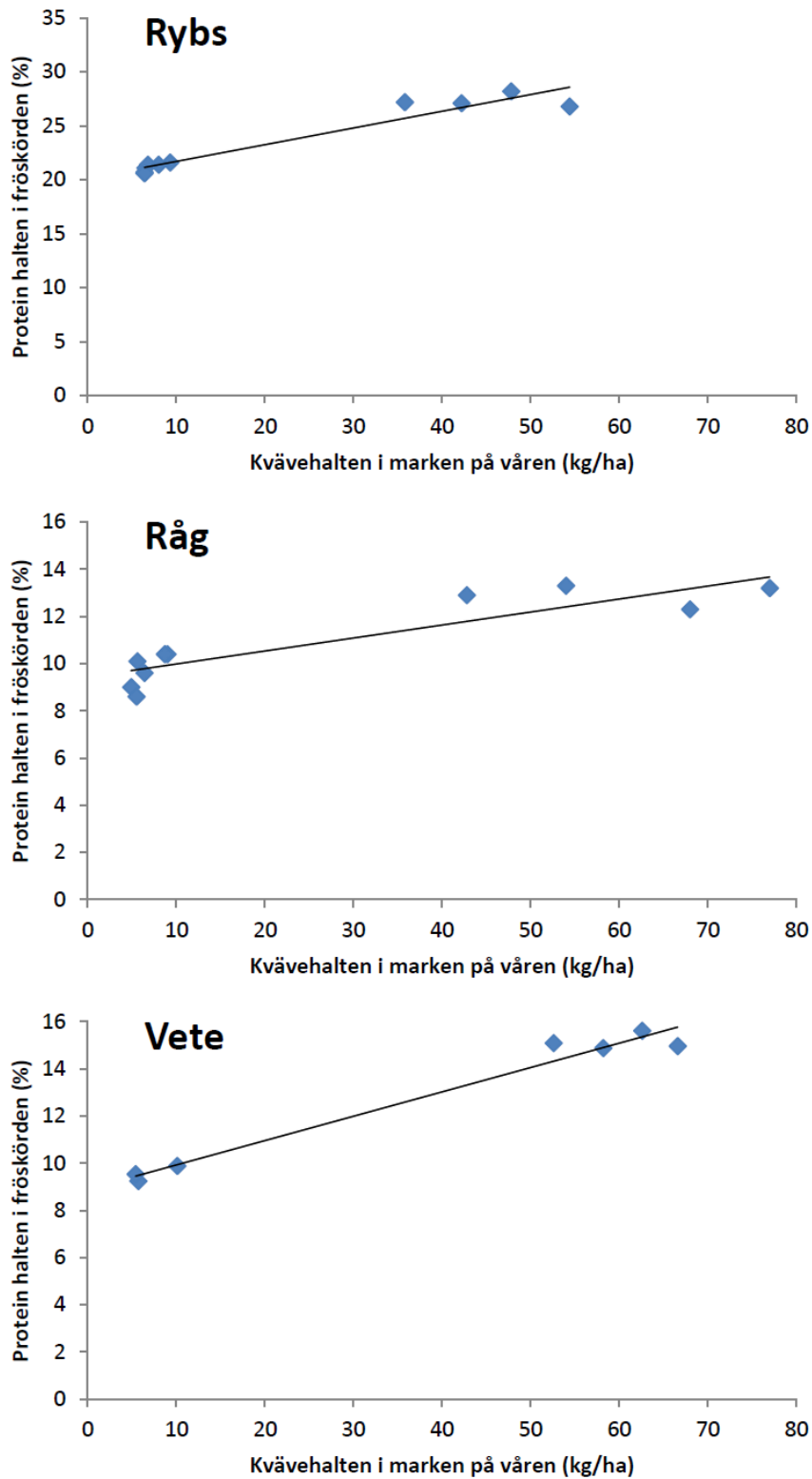


Diagram 10. Förhållandet mellan markens kvävehalt på våren och proteinhalten i fröna för rybs $y = 0,1552x + 20,139$: $r^2 = 0,9304$, råg $y = 0,0552x + 9,4248$: $r^2 = 0,8106$, vete $y = 0,1034x + 8,8844$: $r^2 = 0,9745$.

Bilaga 4.

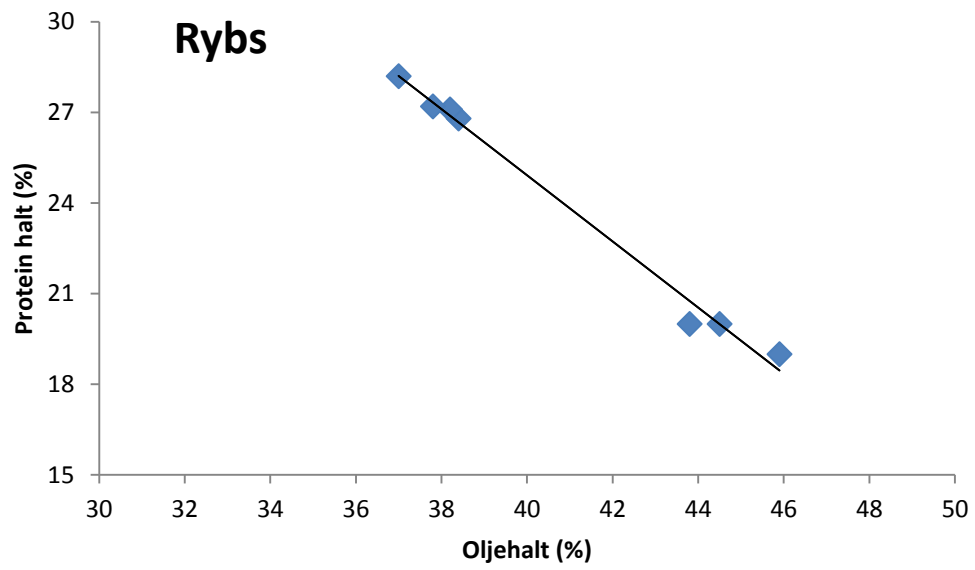


Diagram 11. Förhållande mellan oljehalten och proteinhalten i rybsfröna, $y = -1,0943x + 68,689$; $r^2 = 0,9908$.